
This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

<https://books.google.com>





A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

NYPL RESEARCH LIBRARIES



3 3433 06274461 4

Annales

3-VGA

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

PARIS. — IMP. G. MARFON ET E. FLAMMARION, RUE MACEINE, 26.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME XIII

Année 1886

PARIS

V^{VE} CH. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1886

-18086-



NOY WEN
JUL 17
1893

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1886

Janvier-Février

ÉTABLISSEMENT D'UNE COMMUNICATION TÉLÉPHONIQUE ENTRE PARIS ET REIMS A L'AIDE DES CONDUCTEURS TÉLÉGRAPHIQUES EXISTANTS

Depuis le 1^{er} décembre dernier, le réseau téléphonique de Reims est relié au palais de la Bourse à Paris ; les communications ont été établies au moyen de conducteurs télégraphiques qui existaient déjà et qui ont conservé leur affectation. Le système appliqué est celui de M. Van Rysselberghe ; le principe en ayant été donné dans les *Annales télégraphiques* (*), la figure ci-contre suffira pour le rappeler et nous ne reviendrons pas sur ce sujet.

Description de la ligne téléphonique. — On a utilisé quatre conducteurs télégraphiques qui s'étendent sans discontinuité de Paris à Reims et dont trois se

(*) *Annales télégraphiques*, 1884, p. 323, et 1885, p. 203.

prolongent au delà de cette dernière ville : l'un d'eux possède encore un parcours de 450 kilomètres au delà de Reims. Trois des conducteurs sont formés, dans la

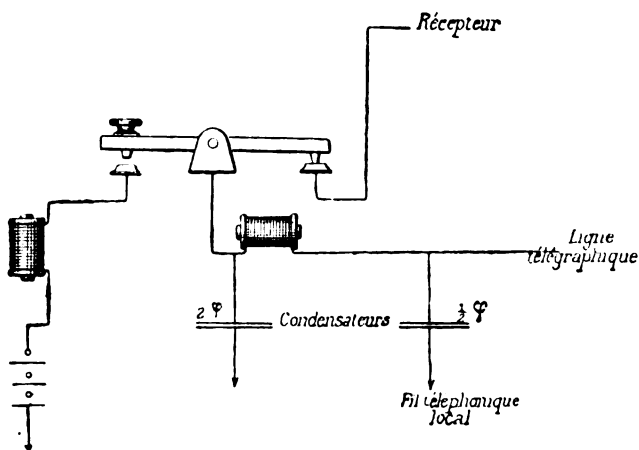


Fig. 1.

partie aérienne, de fil de fer galvanisé de 4 millimètres de diamètre et desservent (a) Soissons et Reims, (b) Charleville, (c) Belfort ; la partie aérienne du quatrième (d) est constituée en fil de 5 millimètres. Ils partent du poste central télégraphique de Paris ; dans la traversée urbaine qui offre une assez grande longueur (10,400 kilomètres), un câble sous gutta et plomb les renferme ainsi que le conducteur (f) affecté à la communication Paris-Roubaix.

La spécification du câble est la suivante (mesures moyennes après la pose) :

Isolement kilométrique	5.500 Ω
Capacité kilométrique.	0,23 φ
Résistance kilométrique.	7 ω

D'autres câbles télégraphiques ou téléphoniques les

suivent ou les rencontrent et l'influence ne s'en fait pas sentir.

Les conducteurs deviennent ensuite aériens; ils présentent au tunnel de Vierzy, à 91 kilomètres de Paris environ, une section de 1.425 mètres en câble sous plomb.

Une ligne de l'État existe de part et d'autre de la voie ferrée jusqu'à Soissons; avant l'établissement de la communication téléphonique, les fils qui y sont maintenant affectés appartenaient à celle de droite et se trouvaient à proximité des fils de la Compagnie du Nord (omnibus, directs, sonneries d'annonce ou de disques, sémaphores); le nombre en est considérable, surtout aux abords de Paris, et les piles qui les desservent sont généralement fortes. Le côté gauche de la voie jusqu'à 50 kilomètres n'était, au contraire, occupé que par une ligne d'intérêt général comprenant cinq fils dont celui de Roubaix. Il était donc facile de soustraire à un voisinage qui aurait pu présenter quelques inconvénients les quatre conducteurs destinés aux communications téléphoniques. Ceux-ci furent substitués sur les appuis de gauche à quatre conducteurs qui les remplacèrent sur la ligne de droite : on ne toucha pas au fil. Le faisceau aérien forme pour ainsi dire la continuation du câble en égout; le fil de Roubaix l'abandonne à Ormoy. Au delà du tunnel de Vierzy, les fils reprennent la droite et restent parallèles sur une longueur de huit kilomètres environ aux fils de la Compagnie du Nord sans qu'il en résulte de trouble dans les communications téléphoniques. Le fil (*a*) est établi en dérivation à Soissons; un conducteur aérien relie la ligne sur chemin de fer au bureau urbain.

De Soissons à Reims, l'État possède sur le côté sud

de la voie une ligne à cinq fils comprenant quatre conducteurs affectés à la communication téléphonique Paris-Reims et un fil de cinq millimètres desservant le Havre. Le côté nord de la voie est réservé aux fils nécessaires pour le service de la Compagnie de l'Est, à laquelle appartient cette section de chemin de fer; un fil de navigation côtoie sur une petite distance la ligne de l'État à quelques kilomètres de Soissons; un fil reliant une localité voisine de Reims à cette dernière ville emprunte les mêmes appuis sur un faible parcours.

Constitution des circuits téléphoniques. — Deux circuits téléphoniques à double fil ont été constitués entre Paris et Reims à l'aide des quatre conducteurs télégraphiques (a) (b) (c) et (d). Tous les quatre entraînent, à vrai dire, dans le bureau télégraphique de Reims et l'on y aurait rattaché directement le circuit téléphonique d'autant plus aisément que les deux postes centraux télégraphique et téléphonique occupent le même immeuble; mais les conducteurs y étaient amenés par un câble souterrain et l'on a cru préférable, pour le raccordement du réseau téléphonique, de construire une ligne aérienne qui rejoint près de la gare celle sur chemin de fer. Cette ligne établie en fil de bronze de 2 millimètres n'a qu'un faible développement, 1.900 mètres, et ne présentait aucune difficulté.

La situation n'était pas la même à Paris où le palais de la Bourse, désigné comme point de départ pour la ligne téléphonique de Reims, se trouvait à une distance notable du poste central télégraphique; on n'avait pas ici des facilités de raccordement dont on aurait pu profiter à Reims; la construction d'une ligne télé-

phonique spéciale était nécessaire et l'on ne pouvait hésiter que sur le mode d'exécution et le choix du tracé. Une ligne aérienne allant retrouver la ligne sur chemin de fer au point de jonction de celle-ci avec le câble en égout aurait été certainement plus favorable aux transmissions téléphoniques ; mais on crut bon d'essayer immédiatement l'emploi d'un câble téléphonique du type en usage pour le réseau urbain. Deux solutions se présentaient pour le raccord du circuit téléphonique au réseau télégraphique : le faire au poste central télégraphique, ou bien, comme nous venons de l'indiquer pour l'embranchement aérien, au point de jonction du câble en égout avec la ligne sur chemin de fer. Dans le premier cas, le circuit téléphonique comprenait la totalité de la ligne télégraphique en égout et l'on avait sous la main au poste central télégraphique les appareils auxiliaires intervenant dans l'application du système Van Rysselberghe. Cet avantage n'existe pas dans le second cas ; mais il importe de remarquer que les appareils en question sont robustes et très simples ; en outre, la longueur du parcours souterrain total est diminuée dans une forte proportion. Bien que la ligne de raccordement prise séparément fût plus étendue, c'est-à-dire plus chère que dans la première hypothèse, ces considérations firent adopter la seconde solution. Les câbles employés au raccordement avec la ligne télégraphique sont formés de conducteurs en cuivre sous gutta-percha, tressés deux à deux ; le tout est enfermé dans un tube en plomb. Les mesures effectuées sur les câbles de ce type avant la pose donnent pour ceux placés dans les conditions les moins bonnes :

Isolément kilométrique	1.283 Ω
Capacité id.	0,20 φ
Résistance id.	31 ω

La longueur totale de la ligne téléphonique, abstraction faite des tronçons de conducteurs qui continuent à servir exclusivement aux transmissions télégraphiques, atteint à peu près 164 kilomètres, se décomposant de la manière suivante :

Embranchement spécial de Paris en câble téléphonique.	6 ^k m,570
Ligne aérienne télégraphique utilisée.	153 ,862
Câble sous plomb au tunnel de Vierz	1 ,425
Embranchement spécial de Reims en fil de bronze. . .	1 ,900

Appropriation électrique du réseau. — On sait (*) que pour supprimer les variations brusques dans l'intensité des courants télégraphiques, M. Van Rysselberghe adopte des dispositions légèrement différentes suivant que la transmission télégraphique a lieu par appareil Morse ou par appareil Hughes. Dans l'un et l'autre cas, il intercale un électro-aimant entre la pile et l'organe qui la met en relation avec la ligne ; au delà de celui-ci, il place un second électro-aimant dont une extrémité est rattachée à l'une des armatures d'un condensateur dont la seconde armature est à la terre. Pour l'appareil Hughes, M. Van Rysselberghe ajoute encore sur le trajet de la dérivation à la terre un électro-aimant, mais de résistance moindre que les précédents.

Les électro-aimants agissent par la self-induction sur la période variable, sur celle correspondant en particulier à l'établissement du courant, pour la modifier de telle sorte qu'un téléphone, même embroché dans le circuit, reste silencieux.

Quant au condensateur, voici le rôle qu'on nous pa-

(*) *Journal télégraphique international de Berne*, janvier 1884.

rait lui attribuer (*) : après une émission de courant, pendant que le manipulateur opère son mouvement de bascule vers la position de repos, il y a un court instant durant lequel la ligne se trouve isolée de toute liaison avec la pile ou la terre, puisque le levier ne touche ni au contact antérieur ni au contact postérieur. Le condensateur en se déchargeant graduellement à travers la ligne empêche la cessation brusque du courant jusqu'au moment où le manipulateur est revenu sur le butoir de repos.

Les électro-aimants fournis par MM. Murlon, associés de M. Van Rysselberghe, ont 500 ohms de résistance, sauf ceux placés sur la dérivation à la terre dans l'appareil Hughes. Le fil est enroulé sur un noyau de fer plein de 72 millimètres de long et 14 millimètres de diamètre; la partie sur laquelle se fait l'enroulement est longue de 55 millimètres; deux joues en fer de 13 millimètres d'épaisseur laissant affleurer vers l'extérieur les extrémités du noyau plein; un cylindre en fer de même épaisseur à peu près les rejoint et recouvre l'ensemble qui offre l'aspect d'un cylindre de 40 millimètres de diamètre. On voit que la masse de fer est considérable et que le circuit magnétique est fermé. La constitution de ces électro-aimants rappelle tout à fait celle des électro-aimants tubulaires de Guillemain (1846) et de Fabre (1855) dont Nicklès a examiné certaines propriétés dans son étude sur *Les électro-aimants et l'adhérence magnétique* (1860).

On semble n'accorder à l'enveloppe en fer qu'une utilité, celle de rendre insensibles, dans le voisinage des électro-aimants, les effets des aimantations et désaimantations qu'ils subissent. Il y aurait lieu de se

(*) *Téléphonie et télégraphie simultanées*, par Ed. Buels, p. 70.

demander si elle n'intervient pas d'une manière plus active dans le fonctionnement du système. M. Preece(*) a montré expérimentalement que plus la forme du noyau d'un électro-aimant se rapproche de celle d'un anneau ou d'une courbe fermée en fer, plus grande est l'intensité de l'extra-courant; il est vraisemblable qu'un phénomène analogue est produit par la continuité du circuit magnétique dans les bobines de M. Van Rysselberghe.

Les condensateurs sont disposés dans des boîtes en fonte et noyés dans la paraffine; ceux dont nous avons parlé tout à l'heure, placés en dérivation entre le manipulateur et la ligne, ont une capacité de deux microfarads; l'électro-aimant de ligne et le condensateur sont logés dans une même boîte et forment ainsi ce qu'on pourrait appeler un graduateur dynamostatique auquel on réserve ordinairement le nom plus simple d'appareil anti-inducteur ou, par abréviation, d'anti-inducteur.

Chacun de ces appareils est muni de paratonnerres. Ce sont de simples paratonnerres à lames d'air; la forme seule les distingue de ceux proposés jusqu'ici; le démontage en est facile et le papier évidé qui maintient l'écart des deux plaques se découpe aisément à l'emporte-pièce; le papier est, bien entendu, paraffiné. Il serait probablement inutile de chercher, dans les paratonnerres à lame d'air, à substituer la baudruche en gutta-percha au papier fin; le découpage en est plus difficile, l'altération plus grande dans les climats chauds et la couche d'air déterminée par l'épaisseur du papier est assez mince pour la pratique.

(*) *Journal of the Society of Telegraph Engineers de Londres*, 1877, p. 44, et *Annales télégraphiques*, 1877, p. 440.

Si l'on voulait empêcher qu'un bruit quelconque dû aux transmissions télégraphiques se fit entendre au téléphone, on devrait, dans le système de M. Van Ryselberghe, munir des appareils ci-dessus tous les fils ayant même parcours que ceux employés aux communications téléphoniques ; mais il suffit de rendre les bruits assez faibles pour que la conversation n'en soit point incommodée et que les signaux ne puissent être reconnus. On a donc armé seulement les conducteurs affectés à la téléphonie et ceux portés par les mêmes appuis ; encore a-t-on négligé parmi les derniers les fils dont le parcours commun avait peu d'étendue et se trouvait vers le milieu de la ligne. L'expérience a montré, en outre, que les fils situés de l'autre côté de la voie ferrée avaient une influence insensible. Des cinq fils appartenant au faisceau de gauche, un est desservi exclusivement au Morse, un au Morse ou au Hughes, les trois autres au Hughes. Les électro-aimants graduateurs de pile et ceux de dérivation à la terre ont été naturellement établis dans les postes mêmes de manipulation ; les électro-aimants de ligne accompagnés de condensateurs ont été, au contraire, répartis en différents points. A Paris, on les a disposés à la jonction de la ligne en égout avec celle aérienne ; l'embranchement téléphonique n'étant raccordé à la ligne télégraphique qu'au delà de l'électro-aimant, n'est pas affecté par les courants d'induction que viendraient à déterminer dans le câble les transmissions effectuées par les conducteurs contigus dans une partie du trajet en égout ; en fait, c'est plutôt là un surcroît de précautions, puisque les conducteurs du câble communiquent deux à deux avec chaque circuit téléphonique. De même encore, lorsqu'un fil abandonnait le faisceau

des quatre conducteurs consacrés simultanément aux deux modes de correspondance, un appareil anti-inducteur a été placé sur ce fil à la bifurcation de la ligne ; on a eu pour but d'empêcher que les courants induits développés, grâce au voisinage d'autres conducteurs télégraphiques au delà du point indiqué, ne vinssent déterminer des courants induits d'ordre supérieur dans les circuits téléphoniques ; la compensation n'aurait pas été aussi complète que pour le câble dont nous parlions tout à l'heure, car les fils de chaque circuit n'occupent point une position symétrique par rapport au fil perturbateur et la distance qui les sépare est comparable à celle de l'un ou de l'autre au dernier.

C'est ainsi que le fil de Roubaix a été muni, à Ormoy, d'un électro-aimant avec condensateur ; il en est de même à Soissons, pour le conducteur desservant le Havre et pour l'embranchement urbain du fil Paris-Soissons-Reims. A Reims enfin, des appareils semblables sont intercalés entre le point d'attache du circuit téléphonique et les dernières parties des fils. Comme nous l'avons dit tout à l'heure, on a laissé tels quels les fils d'ordre secondaire qui coupent les lignes à angle droit ou suivent sur quelques kilomètres seulement les conducteurs téléphoniques.

Agencement électrique des circuits téléphoniques proprement dits. — Les communications téléphoniques ayant été établies en consacrant à chacune d'elles deux fils télégraphiques distincts, on ne peut songer à rattacher directement à ceux-ci le circuit téléphonique ; pour obvier aux mélanges et aux dérivations que l'on créerait ainsi, M. Van Rysselberghe, on se le rappelle, a mis à profit la propriété des condensateurs de laisser passer les transmissions

téléphoniques. Les fils des circuits téléphoniques aboutissent à l'une des armatures d'un condensateur, l'autre armature étant mise en communication avec le conducteur télégraphique. Cette dernière jonction a lieu, par rapport à l'électro-aimant de ligne, du côté du poste correspondant : c'est là une précaution indispensable et à l'observation de laquelle on est immédiatement rappelé en cas d'oubli, la conversation devenant impossible dès que les interlocuteurs sont séparés par un électro-aimant graduateur. On pourrait vraisemblablement utiliser cette propriété pour constituer à l'aide d'un même conducteur deux ou plusieurs communications téléphoniques ; on sectionnerait le fil par des électro-aimants graduateurs, et la conversation s'effectuerait sur des sections comprises entre deux électro-aimants consécutifs. L'expérience n'a pas encore été tentée, du moins à notre connaissance.

Les condensateurs-séparateurs dont nous venons de signaler la fonction sont semblables aux condensateurs décrits plus haut ; la capacité en est seulement de 0^{re},5, au lieu de deux microfarads ; ils sont munis de paratonnerres.

Sans revenir sur ce qui a été dit des embranchements téléphoniques à Paris et à Reims, nous ferons observer que les dispositions techniques prises pour mettre le public en état de communiquer ne sauraient être identiques dans les deux villes. A Paris, en effet, on n'emploie que des lignes à fil double, tandis qu'à Reims le réseau téléphonique est établi par fil simple. On est, en pareil cas, amené à placer entre la ligne double et la ligne simple une bobine d'induction. Les deux fils de la ligne double aboutissent aux extrémités de l'un des circuits de bobine que nous appellerons

circuit induit; le second circuit, que nous désignerons sous le nom de *circuit inducteur*, communique d'une part avec la ligne simple, d'autre part avec la terre. Les bobines fournies à cet effet par les constructeurs de M. Van Rysselberghe, pour la ligne Paris-Reims, sont partagées en deux parties, à angle droit l'une sur l'autre, comme l'indique le croquis ci-dessous (fig. 2). Les circuits induits sont indépendants l'un de

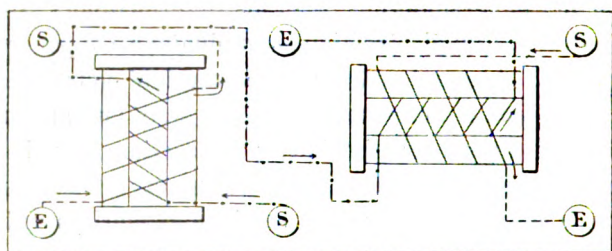


Fig. 2.

l'autre; ils offrent chacune une résistance approximative de 300 unités; le circuit inducteur ne présente aucune interruption et possède une résistance de 160ω . Le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits entiers est égal à 1 (unités pratiques). Les bobines primitivement en usage étaient munies de noyaux en fer doux. Les constructeurs les ont remplacés depuis lors par de simples tubes fendus.

Montage des postes centraux. — 1° *Transmetteurs et récepteurs.* A Paris, l'installation est des plus simples. Deux cabines ont été affectées au service de Reims. On a placé un microphone Van Rysselberghe dans l'une, un transmetteur d'Arsonval dans l'autre. Les lecteurs des *Annales télégraphiques* connaissent le principe de réglage de celui-ci (*). La construction a

(*) *Annales télégraphiques*, 1882, p. 492.

été légèrement modifiée depuis la création du premier modèle; l'aimant régleur agit avec plus de sûreté; le

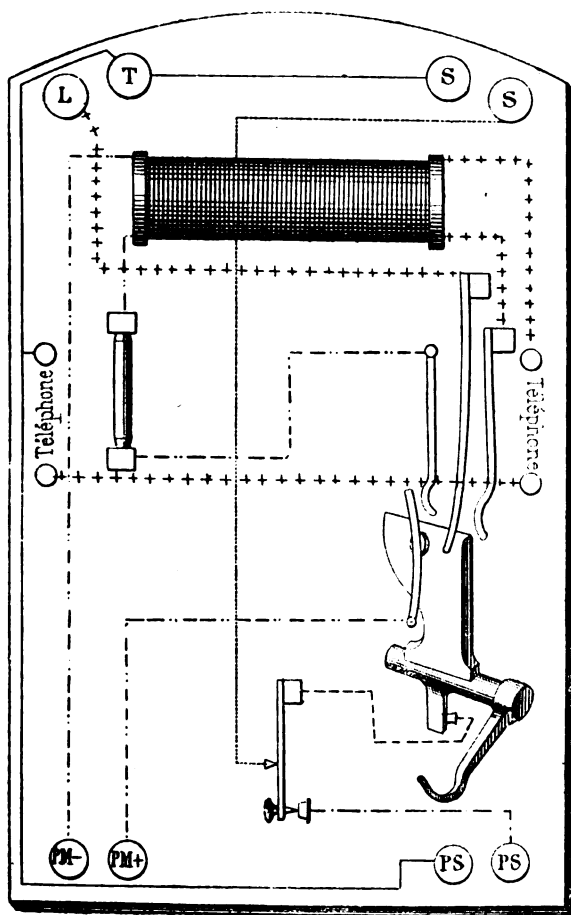


Fig. 3.

nasillement a été efficacement combattu. Nous donnons ci-dessus le croquis des communications intérieures (fig. 3). Cet appareil fournit une bonne trans-

mission; la verticalité en est considérée comme un avantage par un grand nombre de personnes; peut-être

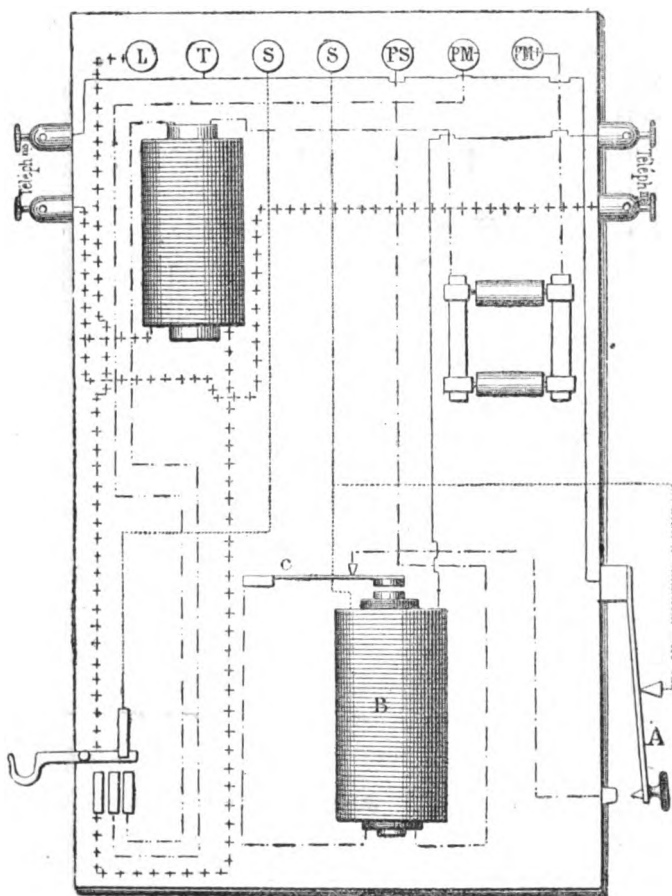


Fig. 4.

les microphones qui sont dans ce cas offrent-ils dans une cabine publique plus de facilités aux correspondants pour bien placer la tête devant la planchette,

malgré la diversité des tailles. Mais, à vrai dire, les sentiments sur l'inclinaison des plaques sont partagés et la vraie solution consiste à donner le moyen de régler à volonté la hauteur : cette idée a déjà été appliquée dans le microphone Berthon. Les microphones de M. Van Rysselberghe, dont le fonctionnement est d'ailleurs très satisfaisant, sont disposés en pupitre. On les a réservés au circuit par lequel s'échangent de préférence les avis de service. Ces microphones ont été établis d'après deux types distincts dont on trouvera les communications dans les *fig.* 4 et 5. Le premier (*fig.* 4) se rapporte au transmetteur desservant une ligne à fil unique ou une ligne à fil double dont l'extrémité ou les extrémités aboutissent à l'appareil même. Le fil de retour s'attache, dans le second cas, à la borne terre T; l'autre, à la borne L. La pile de microphone arrive en PM + et PM —; le récepteur d'appel est relié à S, S; la borne PS correspond à la pile de sonnerie et se trouve reliée au circuit inducteur d'une bobine d'induction de Ruhmkorff, dont le rôle sera indiqué tout à l'heure. Le second type est destiné aux lignes à fil unique qui forment le prolongement d'une ligne double; ce dispositif conviendrait, par exemple, pour une cabine ou un abonné de Reims, si dans ce cas spécial, l'on n'avait pris des mesures pour que les habitudes des abonnés fussent changées le moins possible. Dans ce modèle (*fig.* 5), les bornes PM, L, T, PS sont affectées, comme plus haut à la pile de microphone, à la ligne, à la terre et à la pile de sonnerie qui est ici reliée à un simple trembleur; les deux bornes S ont disparu, le récepteur d'appel étant embroché dans le circuit double.

Les microphones Van Rysselberghe qui ont été four-

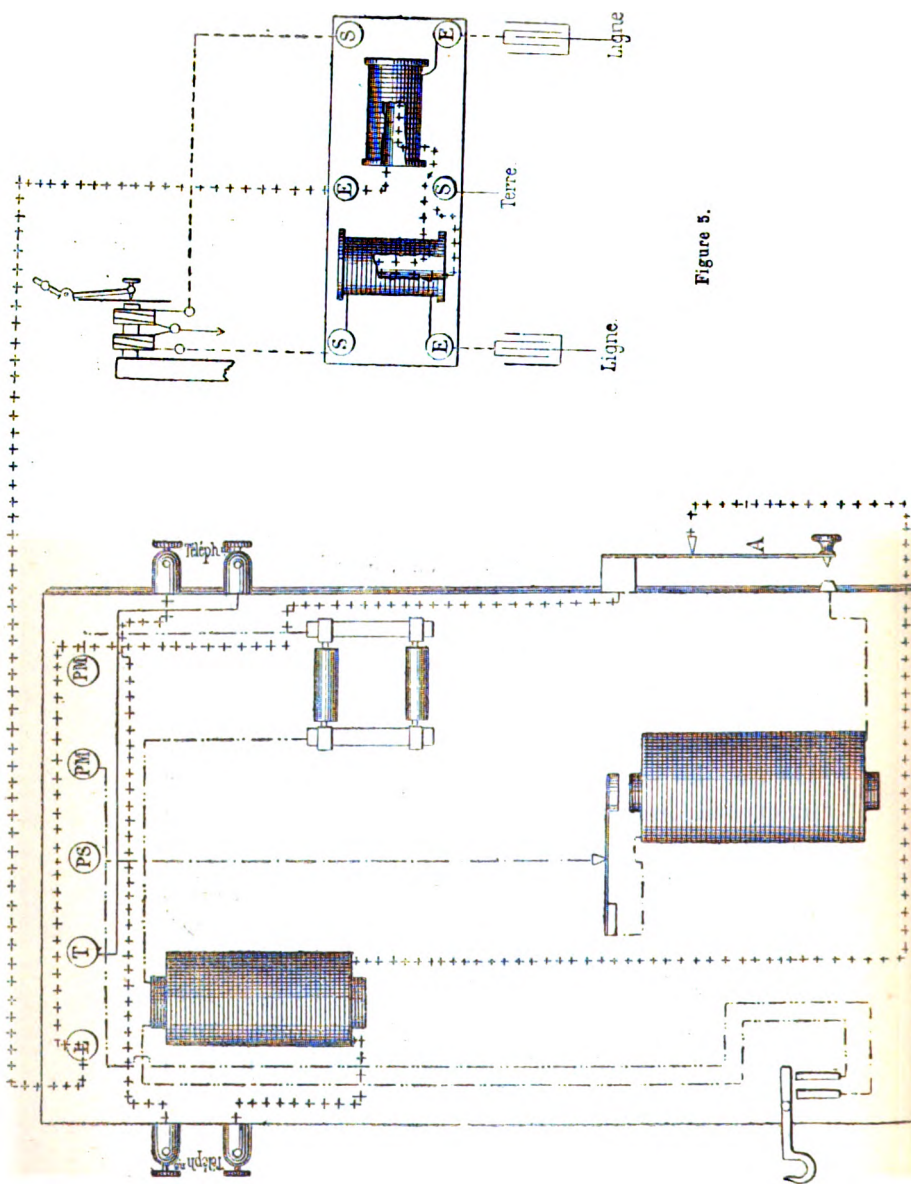


Figure 5.

nis à l'Administration française comportent deux charbons qui ressemblent à ceux des microphones Ader, Crossley, Gower-Bell, Bréguet, etc.

Quant aux récepteurs, on a choisi les téléphones d'Arsonval (*) qui ont paru donner des résultats très bons et très constants et sont d'un maniement commode.

2° *Appels entre postes centraux.* La continuité de la ligne téléphonique étant rompue par les condensateurs-séparateurs, il est évident qu'on ne peut avoir recours aux modes d'appel usités dans le service télégraphique ordinaire. M. Van Rysselberghe a appliqué une idée que lui avait suggérée M. Sieur, contrôleur des télégraphes à Paris; l'appareil, auquel on donne souvent le nom d'appel phonique, est tout à fait analogue à celui dont ce dernier a donné une description succincte (**), à propos d'un nouveau procédé de télégraphie multiple sur un même fil. C'est un téléphone (*fig. 6*) intercalé dans le circuit de ligne et faisant fonction de relais local. La membrane, placée verticalement est, à l'état de repos, en contact permanent avec la pointe d'une vis qui termine un levier métallique mobile autour d'un axe horizontal; le levier et la membrane, en communication par la pointe de la vis, forment dérivation par rapport

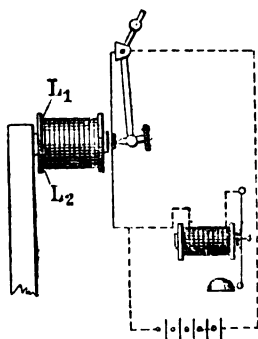


Fig. 6.

(*) *Annales télégraphiques*, 1882, p. 385 et 494.

(**) *Annales télégraphiques*, 1885, p. 439.

au circuit d'une sonnerie tembleuse, dont les deux extrémités sont en communication permanente avec une pile locale; tant que la membrane est en repos, le courant principal de la pile la traverse, ainsi que le levier; la fraction de courant qui passe par la sonnerie est impuissante à la faire fonctionner. Quand, au contraire, des courants de ligne suffisamment forts mettent la membrane en vibration, le levier reçoit un mouvement oscillatoire, le contact par la pointe de la vis devient mauvais et l'intensité du courant dans la sonnerie tembleuse est assez grande pour en provoquer le fonctionnement; la résistance de la sonnerie est de $100\ \omega$ environ. Le court circuit sur lequel est fermée la pile locale entre les appels amène une usure un peu rapide des matériaux; pour obvier à cet inconvénient, du moins en partie, on a essayé de substituer un annonciateur avec enroulement différentiel dont un circuit comprend la membrane du téléphone avec le levier et dont l'autre aboutit directement au pôle de la pile locale; chacun des circuits a plus de 200 ohms de résistance, ce qui donne $100\ \omega$ pour la résistance au repos des circuits associés en dérivation; dans ces conditions l'usure de la pile sera moindre; le fonctionnement est bon. Cette disposition aurait, d'autre part, un certain intérêt le jour où l'on constituerait pour les communications à grande distance un poste central analogue à ceux des réseaux urbains où l'usage des sonneries est généralement abandonné, le bruit en étant fort incommode s'il se produit au moment où les employés échangent des avis de communications avec les abonnés.

Comme l'a fait prévoir l'examen des communications intérieures des microphones de M. Van Rysselberghe, l'installation des récepteurs d'appel n'est pas la même

pour les lignes à fil double aboutissant directement aux microphones (Paris) et pour celles raccordées à des lignes à fil unique (Reims).

Dans le premier cas, le récepteur d'appel rattaché aux bornes S, S (*fig. 4*) est simplement embroché dans le circuit général quand le crochet mobile du microphone est abaissé, c'est-à-dire quand le poste est au repos. On voit en même temps comment celui-ci peut appeler son correspondant. Le manipulateur A étant abaissé ferme le courant de la pile d'appel à travers le circuit inducteur de la bobine B; les courants interrompus qui viennent du fonctionnement du trembleur C déterminent dans le second circuit des courants induits qui se rendent directement sur la ligne en traversant le récepteur d'appel.

Dans le cas de la ligne double raccordée à une ligne à fil unique, le récepteur d'appel est intercalé dans le circuit double. Nous avons dit qu'il existait pour passer de l'une à l'autre ligne une bobine d'induction translatrice possédant deux circuits induits séparés et reliés chacun par une de leurs extrémités aux fils de la ligne double; les secondes extrémités des deux induits se rattachent à la bobine du téléphone de l'appel phonique; celle-ci communique en outre avec la terre par le milieu. L'appel du correspondant par le poste est aussi simple qu'avec l'appareil précédent: on appuie sur le manipulateur A (*fig. 5*) qui ferme ainsi le circuit de la pile d'appel à travers la bobine à trembleur et le fil inducteur de la bobine translatrice; le trembleur fonctionne et provoque l'envoi dans ce fil inducteur de courants interrompus qui développent des courants induits dans les deux autres circuits reliés aux fils de ligne.

Les dispositions que nous venons d'indiquer sont les dispositions normales à prendre avec les appareils de M. Van Rysselberghe, tels qu'ils sortent de chez ses constructeurs. Les installations à Paris et Reims sont en réalité un peu différentes. On a vu que, par les agencements décrits, les courants d'appel traversent au départ les téléphones des récepteurs d'appel. Or, les courants de départ sont plus énergiques que ceux d'arrivée; les premiers, s'ils passent dans les récepteurs d'appel, les actionnent fortement et souvent les dérèglent, de telle sorte qu'ils ne fonctionnent plus par les courants d'arrivée trop affaiblis. Nous devons dire que cet inconvénient ne s'était pas présenté entre Rouen et le Havre, dont la distance atteint seulement 90 kilomètres.

Entre Paris et Reims, au contraire, l'inconstance du réglage donna lieu à de sérieux embarras; peut-être tenait-elle à un léger défaut de construction qu'il eût été facile de faire disparaître. Quoi qu'il en soit, on adopta une solution suggérée par M. Mandroux, agent spécial des Télégraphes, dont le concours a été précieux pendant tous ces travaux; M. Mandroux proposait de réduire, pour les appels, la résistance de la ligne. Dans ce but, il a modifié de la manière suivante les communications des microphones de M. Van Rysselberghe. Dans l'appareil placé à Paris un second manipulateur D (*fig. 7*) a été placé près du premier; le levier est relié d'une façon permanente avec un second ressort de contact contre lequel vient appuyer le crochet mobile quand le téléphone y est suspendu; le butoir de repos du levier est en communication par une borne S avec le récepteur d'appel qui est, d'autre part, mis à la terre; à l'enclume antérieure est attaché le fil induit

de la bobine de Ruhmkorff, l'autre bout du fil étant, comme dans le modèle original, en communication

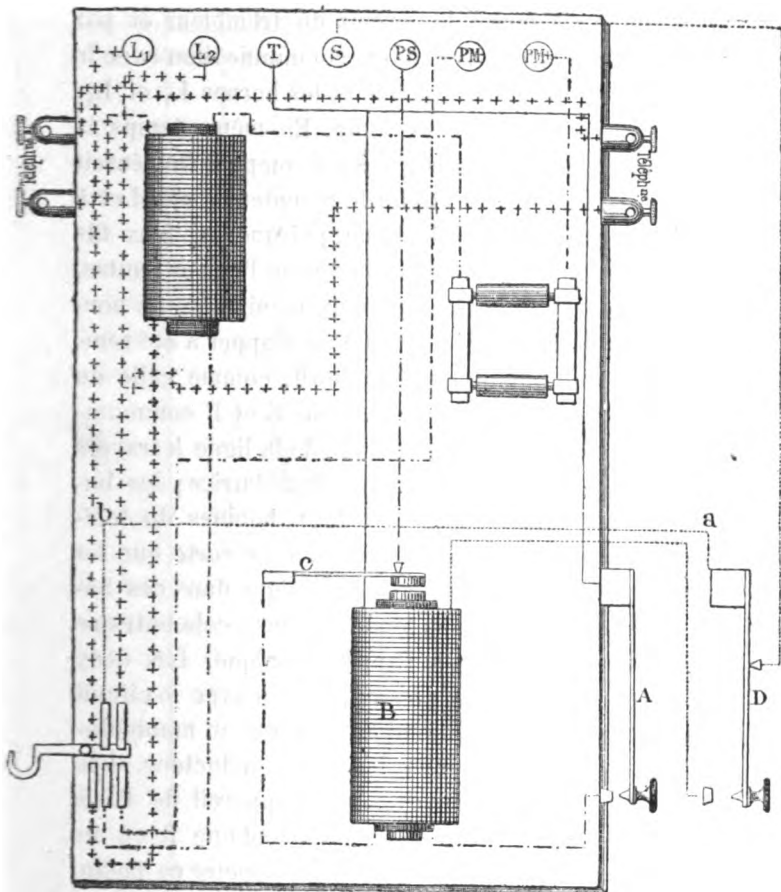


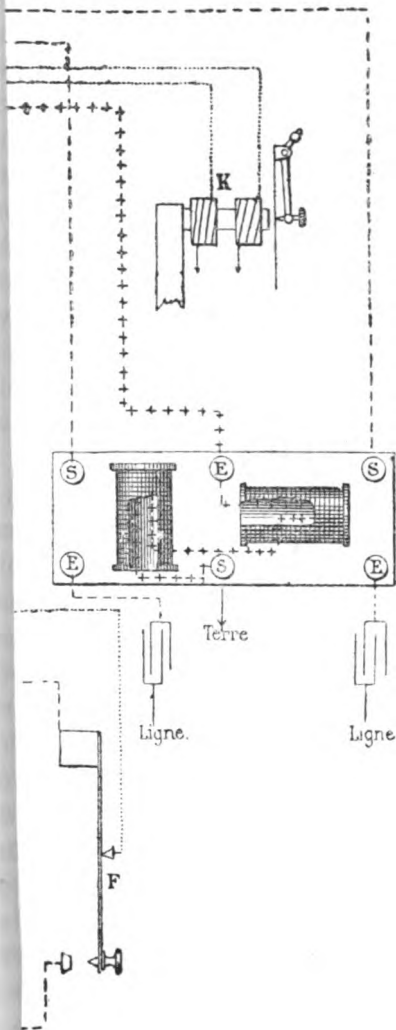
Fig. 7.

avec la borne T. L'autre borne S a disparu pour être remplacée numériquement par une nouvelle borne L à laquelle aboutit le second fil de la ligne double;] cette

borne est réunie au premier ressort sur lequel venait appuyer, au repos, le crochet mobile. Pour appeler, on abaisse à la fois les deux manipulateurs A et D. Le manipulateur A ferme le circuit du trembleur et par *ab* le manipulateur D met en communication avec le circuit induit le crochet mobile et les bornes L_1 et L_2 , c'est-à-dire les deux fils de ligne. En même temps la communication avec la borne S est rompue. On réussit donc à mettre hors du circuit le récepteur d'appel et à réduire la résistance de la ligne, puisque les deux fils de ligne se trouvent alors en dérivation l'un sur l'autre.

L'appareil de Reims a reçu deux manipulateurs nouveaux E et F (fig. 8) et le trembleur d'appel a été remplacé par une bobine de Ruhmkorff, comme celle du microphone de Paris. Les leviers de E et F communiquent en permanence avec les fils de la ligne à travers les circuits induits de la bobine translatrice; les boutons de repos sont reliés aux deux bobines du téléphone récepteur d'appel, mais de telle sorte que les courants semblables arrivant de la ligne dans ces bobines les parcourent dans le même sens; cela entraîne l'addition d'une borne à l'appel phonique. Les deux plots antérieurs sont en communication avec le circuit induit de la bobine de Ruhmkorff. Quant au manipulateur A, il sert à en fermer le circuit inducteur. Les courants semblables envoyés par l'appareil de Paris passent par E, F et les bobines du téléphone R où ils donnent des effets concordants. Pour appeler ce poste, au contraire, Reims appuie simultanément sur les trois manipulateurs placés côte à côte.

Les communications de la ligne avec le récepteur d'appel sont alors rompues : A fait marcher le trembleur de la bobine de Ruhmkorff tandis que E et F





donnent aux courants induits une issue par la ligne dont les deux fils sont, comme tout à l'heure, associés en dérivation. Depuis que les transformations ci-dessus ont été apportées aux organes d'appel, le service en a été très satisfaisant. Il nous a semblé néanmoins que le dispositif adopté pour Reims pouvait être plus simple, et l'on mettra sous peu de jours en essai un appareil modifié d'une autre manière (fig. 9). Le microphone fourni par MM. Mourlon reste tel quel ; on ajoute seulement à côté du manipulateur primitif A un manipulateur inverseur unique H ayant pour but d'inverser les communications : 1° de l'un des induits de la bobine translatrice ; 2° de la bobine correspondante du téléphone récepteur d'appel. L'appel phonique est encore muni d'une borne supplémentaire. Pour appeler le poste de Paris, on appuie sur A et H. On obtient ainsi un double résultat. D'abord les courants développés dans les deux induits de la bobine translatrice par le fonctionnement du trembleur embroché sur le circuit inducteur, parcourent les fils de ligne dans le même sens comme dans la combinaison précédente. En deuxième lieu, le téléphone récepteur d'appel ne subit aucun dérèglement, puisque les deux bobines qui l'actionnent sont traversées par des courants égaux et de sens contraire ; l'ensemble est sans effet sur la membrane : nous supposons là, bien entendu, que les deux circuits sont semblables ; s'ils ne l'étaient pas absolument, il ne subsisterait qu'une différence d'action probablement assez faible pour ne pas même faire fonctionner l'avertisseur (sonnerie ou annonciateur), et ne pas provoquer de dérèglement.

Le système d'appel adopté a nécessité de même la modification de l'appareil d'Arsonval, employé au

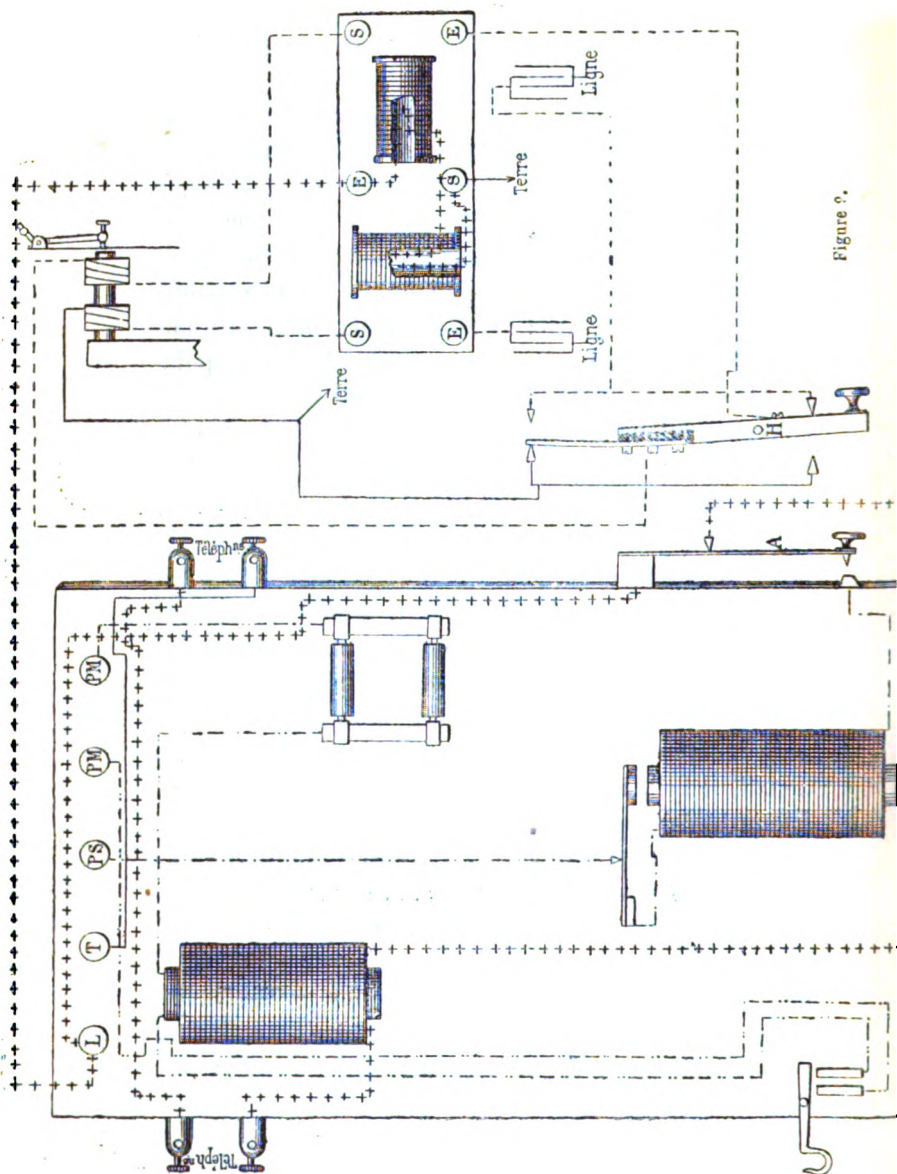


Figure 9.

poste de la Bourse, à Paris. La *fig. 10* montre les dispositions nouvelles prises pour les communications intérieures : les deux fils de ligne sont bien en dérivation l'un sur l'autre pendant le repos ou l'appel ; en outre on a substitué au manipulateur ordinaire une clef *A d e F* analogue à celle proposée par M. Siemens pour les essais au pont de Wheatstone. *A* communique avec le crochet mobile, c'est-à-dire lorsqu'il est abaissé, avec *L₁* et *L₂*, *e* et *d* sont séparés par un morceau d'ébonite ; *d* est relié à l'une des extrémités du circuit induit de la bobine de Ruhmkorff *B*, l'autre extrémité étant à la terre ; le circuit inducteur se ferme par l'intermédiaire de *e* et de *F* : la bobine de Ruhmkorff est extérieure au microphone. Le ressort qui, pendant la conversation, ferme le circuit de la pile de microphone, est isolé, au repos, du crochet mobile par une petite pièce d'ivoire. Par l'abaissement du levier *A*, on amène au contact : 1° *A* et le bloc *d* ; 2° le ressort *e* et l'enclume *F* : le trembleur de la bobine se met donc en mouvement, déterminant en fin de compte des courants induits qui, par *d*, *A* et le crochet mobile se rendent en *L₁* et *L₂* sur les fils de ligne.

La réduction de la résistance de la ligne n'est pas le seul effet qu'ait l'accouplement des fils en dérivation ; on doit noter que la sortie de Paris, se fait en ligne souterraine avec des conducteurs tressés, c'est-à-dire rapprochés autant qu'il est possible ; l'émission de courants de sens contraire y crée, en des couples de points très voisins des différences de potentiel qui deviennent, dans les appels, relativement considérables ; il y a, de ce fait seul, et tout autre considération mise de côté, une condensation qui ne saurait être que nuisible à la transmission des appels ; si les courants, à

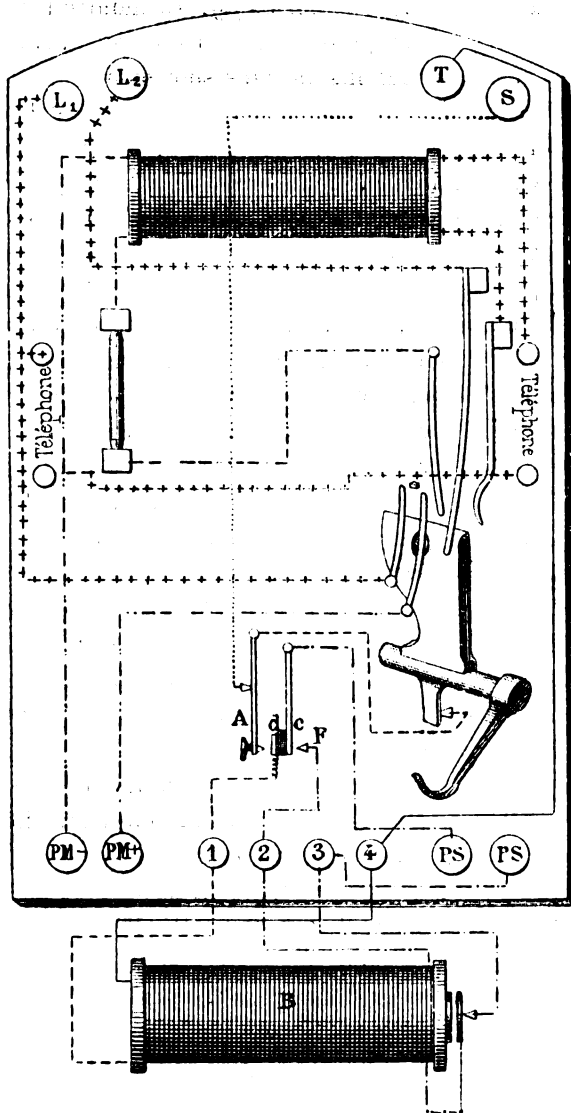


Fig. 10.

partir du point commun d'origine, sont égaux et de même sens, l'inconvénient disparaît. Il faut reconnaître, d'autre part, que l'induction d'un des deux fils sur l'autre agit maintenant dans un sens défavorable.

3° Piles. — Les piles de microphone ont fait l'objet d'essais nombreux à la suite desquels ont été adoptés les éléments Chaperon et de Lalande, à oxyde de cuivre et potasse; il en existe divers modèles, dont un avec vase en verre et zinc en spirale, non hermétique, se rapprochant comme dimensions de l'élément Leclanché, généralement employé; le choix s'est arrêté sur ce type, classé sous la lettre B par le constructeur, M. de Branville. On peut admettre, croyons-nous, comme limite inférieure de la force électromotrice 0,6 et comme limite supérieure de la résistance intérieure 0,25. Le groupement qui a donné les meilleurs résultats est constitué par six éléments formant deux séries accouplées de trois éléments chacune; la résistance intérieure de la pile est ainsi diminuée de moitié : c'est là du moins ce qui a été fait pour les appareils d'Arsonval de la cabine de Paris et du réseau de Reims. On a dû se borner pour les microphones Van Rysselberghe à une série unique de trois éléments; la réunion en surface de deux séries pareilles amenait un crépitement insupportable.

Ces piles peuvent être fermées sur le circuit du microphone pendant longtemps, sans qu'il y ait affaiblissement marqué dans l'intensité des sons obtenus; c'est ainsi que l'on a conversé en laissant la pile fermée jusqu'à deux heures de suite.

Les piles d'appel sont différentes à Paris et au poste central de Reims. Dans cette ville, en effet, le circuit de la pile d'appel offre une résistance de 200ω environ,

comprenant celle du circuit inducteur de la bobine translatrice et celle du trembleur ; on emploie quinze éléments Leclanché du modèle ordinaire. A Paris, le circuit inducteur de la bobine de Ruhmkorff n'atteint pas 3ω ; il a paru logique de prendre pour le desservir des éléments à faible résistance intérieure ; six éléments Leclanché à agglomérés grand modèle suffisent.

Installation des cabines et organisation du service.

— L'installation des cabines n'offre rien de particulier : on s'est contenté de faire remettre en état, pour celles de Reims, les microphones d'Arsonval du type primitif posés lors de l'inauguration du réseau urbain et d'y apporter les mêmes perfectionnements qu'aux appareils nouveaux ; cette transformation peu importante comme main-d'œuvre a eu les meilleurs résultats et la transmission est devenue très satisfaisante. Les piles de microphones ont été constituées, comme nous l'avons indiqué plus haut, à l'aide de six éléments Chaperon et de Lalande, associés par deux séries de trois ; comme surcroît de précautions, on les a logés dans des caisses en tôle mince brasées sur les arêtes et placées elles-mêmes dans les boîtes à pile ordinaire.

Les microphones sont reliés aux piles par du câble de poste moins résistant que le fil d'appartement ordinairement employé. Des dispositions semblables sont prises chez les abonnés de Reims qui veulent être mis en relation avec Paris.

Le service est organisé de la même manière que pour le réseau urbain. Un abonné de Reims désirant communiquer, appuie sur le bouton d'appel de son appareil, fait tomber l'annonciateur du poste central et demande la communication avec Paris. La liaison est alors

établie entre le fil de l'abonné et un commutateur réservé à la grande ligne ; la téléphoniste préposée particulièrement au service de Paris appelle ce poste et met en communication les correspondants. Dans l'état actuel des choses, c'est plutôt Paris qui appelle et la série des opérations est inverse. Le signal de fin de transmission, dans ce dernier cas, est donné par l'appelant à l'aide de la bobine de Ruhmkorff, dont nous avons parlé.

Quand, au contraire, l'appelant est un abonné de Reims, le signal de fin de transmission doit venir de lui. Pour cela on a embroché dans le circuit à fil unique, comprenant le fil de l'abonné et le circuit inducteur de la bobine translatrice, un annonciateur de 50ω possédant moins de spires que les annonciateurs ordinaires. Il déclenche comme eux sous l'action du courant envoyé par l'abonné. On peut encore très probablement simplifier les choses. M. Lorain, sous-ingénieur des télégraphes à Rouen, avait songé à utiliser la bobine translatrice comme bobine de sonnerie d'appel ; mais les bobines translatrices, employées dans l'installation Rouen-le Havre, sont à circuit intérieur mobile ; la disposition rappelle celle des appareils médicaux à chariot. Cette mobilité rendait difficile l'application de l'idée de M. Lorain. M. Van Rysselberghe a modifié depuis lors les bobines translatrices dont toutes les parties sont fixes ; cependant celles fournies pour la communication Paris-Reims, ne renfermant qu'un tube de fer doux fendu, ne se prêtaient pas non plus à l'essai qu'on avait en vue. Les bobines d'induction à faisceau seront expérimentées de nouveau : si elles permettent une conversation aussi bonne, on cherchera à les utiliser non pas comme bobines de son-

nerie, mais comme bobines d'annonceurs, ce qui semble préférable.

Quoi qu'il en soit, et bien que la voie reste ouverte aux perfectionnements de détail, les résultats obtenus sont des plus satisfaisants. Les transmissions télégraphiques n'entravent en rien les communications téléphoniques et les conversations s'échangent régulièrement. On doit donc considérer la solution proposée par M. Van Rysselberghe comme tout à fait pratique et capable de rendre en mainte occasion de précieux services.

Les travaux dont nous venons de donner un résumé, ont été exécutés sous la direction de M. Raymond, directeur ingénieur de la Région télégraphique de Paris-Est.

G. DE LA TOUANNE.

THÉORIE

DES

MACHINES MAGNÉTO ET DYNAMO - ÉLECTRIQUES (*)

VI. THÉORIE DES MACHINES MAGNÉTOS. (*Suite.*)

Magnétos à courants continus.

Nous prendrons, dans ce qui va suivre, comme exemple de magnéto à courants continus l'anneau de Gramme tournant entre les pôles fixes N et S d'un aimant permanent (*fig.* 5 et 6) ou d'un électro-aimant excité par un courant indépendant.

L'anneau AA, dont l'axe O est perpendiculaire au plan de la figure, constitue un noyau de fer doux, sur lequel est enroulé un fil conducteur sans fin, de manière à former une bobine annulaire fermée sur elle-même. Ce noyau n'est pas massif; c'est une couronne de fils de fer (*fig.* 5), dont les diverses spires sont isolées les unes des autres pour réduire autant que possible les courants de Foucault. De distance en distance, à chaque huitième de circonférence sur la figure 5 (à chaque $1/16^{\circ}$ ou $1/32^{\circ}$ en pratique) le fil sans fin est relié par une dérivation à une lame métallique *l*. Les huit lames *l* sont isolées les unes des autres; ces lames et leurs intervalles isolants forment les génératrices d'un cylindre CC, dit *collecteur*, ayant même axe que

(*) Voir *Annales télégraphiques*, mai juin et septembre-octobre 1885.

l'anneau et participant à son mouvement de rotation. Enfin des frotteurs ou balais fixes b_+ et b_- , reliés respectivement aux extrémités f et f' du circuit extérieur,

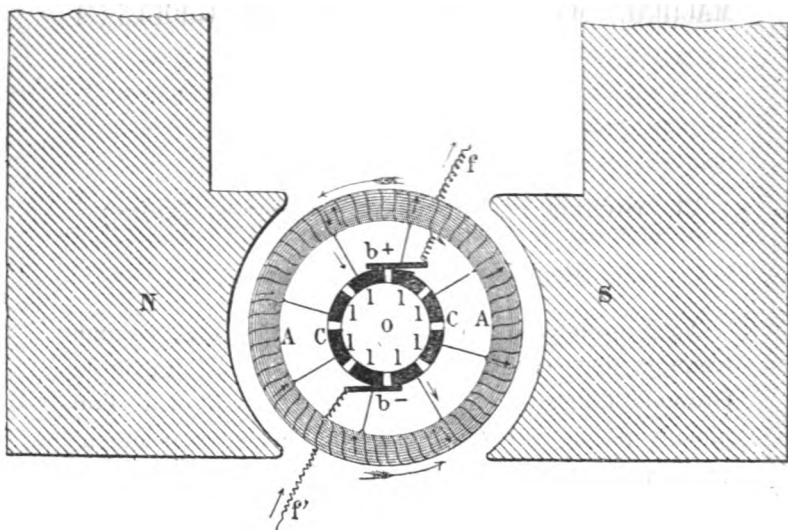


Fig. 5.

appuient sur le collecteur, de telle sorte que, pendant la rotation de celui-ci, ses lames $lll \dots$ passent successivement au contact des balais.

Ceci posé, on voit qu'un courant $2i$, arrivant en b_- par le fil f' , s'y divise en deux courants égaux à i , qui parcourent respectivement les moitiés de droite et de gauche de l'anneau pour se rendre en b_+ et de là au fil f . Le sens du courant dans le fil enroulé sur l'anneau est indiqué par des flèches.

Les lignes de force qui vont du pôle N au pôle S de l'aimant seraient à peu près parallèles si l'anneau n'existait pas. Celui-ci les attire presque entièrement sur lui en raison de sa grande perméabilité magnétique;

elles suivent le fer doux (*fig. 6*), abandonnant les espaces intérieur (hh) et extérieur ($h'h'$), où l'intensité du champ magnétique se trouve considérablement réduite.

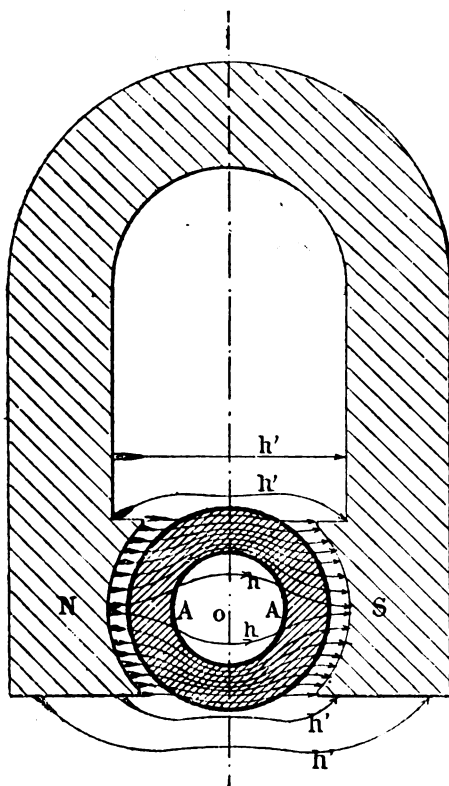


Fig. 6.

Dans la disposition théorique indiquée sur la figure, on n'utiliserait pas au point de vue du travail électrique les lignes de force $h'h'$ qui se rendent directement de la branche nord à la branche sud de l'aimant, non plus que les lignes intérieures hh . Ces dernières sont utilisées dans le tambour Hefner von Alteneck, connu sous le

nom de tambour Siemens, que l'on trouve décrit dans tous les traités.

Lorsque l'anneau tourne, les lignes de force restent fixes dans l'espace si le fer doux n'éprouve aucun retard à l'aimantation — et cette hypothèse paraît exacte dès l'instant que les courants de Foucault ne peuvent se produire. — Le flux de force $\mathfrak{C}$ à travers une section méridienne de l'anneau, qui fait l'angle x avec un plan perpendiculaire à la direction NS, dépend donc de x , mais non du mouvement de rotation; de telle sorte qu'une spire de l'anneau passant de la section x à la section $(x + dx)$ dans le temps dt est soumise à une force *e.m.* $\left(-\frac{d\mathfrak{C}}{dt} = -\frac{d\mathfrak{C}}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}\right)$, qui est proportionnelle à la vitesse angulaire $\frac{dx}{dt}$. Si l'anneau fait V tours par seconde, on a :

$$\frac{dx}{dt} = 2\pi V$$

et

$$-\frac{d\mathfrak{C}}{dt} = -\frac{d\mathfrak{C}}{dx} 2\pi V.$$

Pendant qu'une spire décrit la moitié de gauche de l'anneau, dans le sens de la flèche par exemple, la force *e.m.* moyenne induite est :

$$\frac{\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{C}_1}{\pi} 2\pi V = 2V(\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{C}_1),$$

$\mathfrak{C}_0$ et $\mathfrak{C}_1$ étant les valeurs du flux $\mathfrak{C}$ à travers les sections $(x=0)$ et $(x=\pi)$. Par raison de symétrie ces deux flux sont égaux, mais ils entrent par des faces différentes de la spire; donc $\mathfrak{C}_1 = -\mathfrak{C}_0$, et la force *e.m.* moyenne est $4V\mathfrak{C}_0$.

Si les balais b_+ et b_- sont calés de manière que les deux moitiés de l'anneau soient séparées par le plan diamétral perpendiculaire à NS, dans chaque moitié une spire quelconque apporte une force $e.m.$ moyenne $4V\mathfrak{E}_0$. Le fil enroulé sur l'anneau étant divisé en n secteurs ($n=8$ sur la figure) de p spires chacun, une moitié contient $1/2 np$ spires, et la force $e.m.$ moyenne qui y est développée est :

$$E = \frac{1}{2} np 4V\mathfrak{E}_0 = 2Vnp\mathfrak{E}_0.$$

Cette moyenne est la valeur de la force induite, que l'on peut considérer comme à peu près constante. En effet, lorsque l'anneau a tourné de l'angle $\frac{2\pi}{n}$, c'est-à-dire a avancé d'un secteur, la force $e.m.$ induite y est la même qu'avant cette rotation. La force $e.m.$ est donc périodique et a pour période l'angle $\frac{2\pi}{n}$. De plus, cet angle étant assez faible, dans l'intervalle les variations de la force $e.m.$ ne peuvent être que très faibles; en un mot, celle-ci est sensiblement constante et égale à E .

Les forces $e.m.$ induites dans les deux moitiés de l'anneau sont couplées comme deux éléments de pile égaux en quantité. Si r est la résistance totale du fil de l'anneau, chaque moitié a une résistance $\frac{r}{2}$, et l'anneau introduit dans le circuit une force E et une résistance $\frac{r}{4}$.

Le sens du courant que tend à développer cette force E pour une rotation de droite à gauche est indiqué (*fig. 5*) par des flèches placées le long des spires.

Calage des balais. — Nous venons de supposer les

balais placés à 90 degrés de la direction NS, c'est-à-

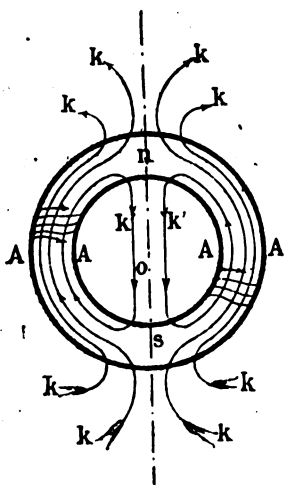


Fig. 7.

dire dans la position de la *ligne neutre*, ainsi appelée parce qu'au moment où une spire franchit cette ligne, le flux de force $\mathfrak{E}_0$ ou $\mathfrak{E}_1$ y est maximum et par suite la forme *e.m.* induite nulle. Mais lorsque le courant passe dans l'anneau, il donne naissance lui-même à un champ magnétique, représenté *fig. 7* par ses lignes de force, lequel modifie celui de l'aimant et déplace la ligne neutre. Il est facile de démontrer géométriquement ou de constater expé-

rimentalement qu'alors cette ligne neutre, au lieu de rester à angle droit sur NS, a tourné d'un certain angle α et dans le sens même de la rotation de l'anneau. On dit qu'elle est entraînée dans le mouvement de celle-ci. Or on trouve avantage en pratique à déplacer les balais dans le même sens, l'angle dont on les déplace étant simplement déterminé par tâtonnements. On a proposé des explications de ce fait, et l'on admet en général cette règle simple : que la ligne de contact des balais ou diamètre de commutation doit coïncider avec la nouvelle ligne neutre.

La plupart des auteurs paraissent croire que la machine donne son maximum de force *e.m.* pour cette position des balais, tandis qu'au contraire la force induite est alors moindre que si les balais étaient calés

à 90 degrés de la ligne NS, ainsi que nous le verrons plus loin. L'idée première de cette explication, qui ne saurait être exacte, remonte à A. Bréguet. Indiquons d'après S. P. Thompson, dans cette manière de voir, la construction géométrique qui fait connaître l'angle de calage à adopter. On représente en grandeur et direction par OH (fig. 8)

le champ magnétique complexe dû aux pôles N et S; par OK le champ développé par le courant lorsque le

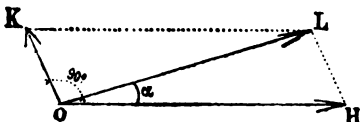


Fig. 8.

diamètre de commutation et par suite la ligne *ns* ont été déplacés de l'angle α . La diagonale OL du parallélogramme construit sur OH et OK représentera le champ résultant. Mais la ligne neutre est perpendiculaire à la direction OL du champ. Donc pour que le diamètre de commutation soit parallèle à la ligne neutre, il faut que l'angle KOL ou OLH soit droit; d'où l'on déduit :

$$\sin \alpha = \frac{LH}{OH} = \frac{OK}{OH},$$

c'est-à-dire que $\sin \alpha$ doit être égal au rapport des intensités des champs dus au courant seul et à l'aimant seul.

Pour tâcher de reconnaître la véritable cause qui nécessite le déplacement des balais, nous allons examiner quelle est l'influence de ce déplacement sur les éléments essentiels qui font varier la puissance électrique ou le rendement de la machine, savoir : 1° la grandeur de la force *e. m.* moyenne induite; 2° les variations périodiques de la force *e. m.* pendant la

marche de la machine; 3° la perte d'énergie due aux courants de Foucault; 4° la perte provenant du fait de la mise en court circuit aux balais, pendant un temps très court, des secteurs successifs de l'anneau.

1° Nous supposons, dans ce qui va suivre, qu'en un point quelconque l'intensité du champ magnétique est la résultante des intensités des champs qui seraient dus séparément à l'aimant NS et au courant i . Ceci est vrai lorsque le fer doux n'est pas près d'être saturé. Mais lors même qu'il n'en serait pas ainsi, le sens des résultats, sinon les valeurs numériques, ne sera pas changé. Dans cette hypothèse, la force *e. m.* de la machine est la somme des forces *e. m.* induites dans les spires en mouvement par le champ magnétique du courant i seul et par celui de l'aimant NS seul.

Le premier de ces effets, — force *e. m.* due au courant i , — est nul. S'il en était autrement, l'anneau traversé par ce courant développerait sur lui-même, par le fait de sa rotation, une force *e. m.* ϵ ; il y aurait une dépense d'énergie égale à ϵi , nécessitée par la rotation même. Or les diverses parties de l'anneau étant invariablement liées les unes aux autres, en vertu du principe de l'égalité de l'action et de la réaction, l'anneau ne peut de lui-même tendre à tourner ni s'opposer à la rotation. Donc la dépense d'énergie à cet effet est nulle : $\epsilon i = 0$; d'où : $\epsilon = 0$. — D'ailleurs, la *fig. 7* montre que, par raison de symétrie, le flux de force à travers une spire est le même en s qu'en n . Par suite, lorsque cette spire décrit une des moitiés de l'anneau, sa variation de flux de force étant nulle, on voit encore de cette manière que la force *e. m.* moyenne induite y est nulle.

Quant à la force *e. m.* induite par l'aimant NS

dans l'anneau, nous avons vu qu'elle est $2Vnp\mathfrak{C}_0$ ou $Vnp(\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{C}_1)$ dans le cas du calage à 90 degrés de NS ($\alpha = 0$). Si l'angle de calage est α , cette force *e. m.* deviendra

$$E = Vnp(\mathfrak{C}_\alpha - \mathfrak{C}_{\alpha+\pi}),$$

$\mathfrak{C}_\alpha$ et $\mathfrak{C}_{\alpha+\pi}$ étant les valeurs du flux $\mathfrak{C}$ à travers une spire à ses passages aux deux balais diamétralement opposés. Comme les lignes de force ont pour axes de symétrie la ligne NS et sa perpendiculaire en O, on voit que $\mathfrak{C}_{\alpha+\pi} = -\mathfrak{C}_\alpha$. Par suite :

$$E = 2Vnp\mathfrak{C}_\alpha.$$

Cette valeur est plus faible que $2Vnp\mathfrak{C}_0$, puisque $\mathfrak{C}_0$ est la valeur maximum du flux $\mathfrak{C}$.

Ainsi le calage des balais sous l'angle α a pour effet de réduire la force *e. m.* induite dans le rapport de $\mathfrak{C}_\alpha$ à $\mathfrak{C}_0$, ce qui est contraire à l'opinion assez répandue que nous citons plus haut.

2° Au moment où un secteur passe d'une moitié de l'anneau à la seconde, il apporte à celle-ci une force *e. m.* ϵ due au champ résultant de l'aimant et du courant. Le secteur diamétralement opposé, qui vient de quitter la seconde moitié, contenait une force *e. m.* égale et de sens contraire $-\epsilon$. Donc la force *e. m.* totale varie de $(E - \epsilon)$ à $(E + \epsilon)$. Ses variations, que l'on doit regarder comme nuisibles, sont d'autant plus faibles que ϵ est plus petit, c'est-à-dire que le diamètre de commutation se rapproche plus de la ligne neutre. La self-induction du circuit rend d'ailleurs les variations du courant moins sensibles que celles de la force *e. m.*

Remarquons, en passant, que les deux secteurs en question, qui donnent les forces *e. m.* $+\epsilon$ et $-\epsilon$, dé-

truisent leurs effets au point de vue du courant moyen. Ils ne font donc qu'introduire leurs résistances, sans effet utile, dans le circuit.

3° Quant aux courants de Foucault, ils sont nuls dans l'aimant inducteur et les masses métalliques voisines, puisque ces masses sont fixes dans un champ magnétique constant. Dans l'armature ou anneau, l'isolement des fils de fer réduit considérablement ces courants parasites, qui tendent à se produire en chaque point dans une direction perpendiculaire au mouvement, c'est-à-dire dans la section méridienne. Le déplacement des balais a pour effet de les réduire encore d'autant plus que l'angle α de calage se rapproche plus de $\frac{\pi}{2}$.

En effet si l'on considère une tranche mince de l'anneau de fer comprise entre deux plans méridiens très voisins, elle est traversée par un flux de force résultant des champs magnétiques dus à l'aimant et au courant; et le courant parasite qui y est engendré est proportionnel à la variation de ce flux dans l'unité de temps. Or, si l'on avait un angle de calage $\alpha = \frac{\pi}{2}$, la section n (*fig. 7*) de l'anneau étant en regard du pôle N, les intensités des champs dus à l'aimant et au courant seraient partout de sens contraires, et la perte d'énergie serait minimum. Si au contraire la section n était en regard du pôle S. ($\alpha = -\frac{\pi}{2}$), le champ dû au courant renforcerait partout celui dû à l'aimant, et la perte d'énergie serait maximum. Pour des valeurs intermédiaires de α , cette perte irait en croissant de $\alpha = \frac{\pi}{2}$ à $\alpha = -\frac{\pi}{2}$. A ce point de vue le déplacement

des balais dans le sens de la rotation est donc favorable.

4° La perte d'énergie résultant du passage d'un secteur aux balais consiste d'une part dans l'échauffement du secteur mis un instant en court circuit, d'autre part dans la production d'étincelles aux balais, qui détériorent le matériel en même temps qu'elles diminuent le rendement. Soient V_1 et V_2 les potentiels à l'entrée et à la sortie de ce secteur; i_1 l'intensité du courant qui le traverse à un instant quelconque, et i_2 celle du courant qui passe dans l'étincelle. La somme $(i_1 + i_2)$ est l'intensité i du courant dans l'anneau :

$$i_1 + i_2 = i.$$

En outre r étant la résistance totale de la bobine annulaire, celle du secteur est $\frac{r}{n}$. Si l désigne son coefficient de self-induction, on a :

$$\frac{r}{n} i_1 + l \frac{di_1}{dt} = V_1 - V_2 + \varepsilon.$$

ε étant la force *e. m.* induite dans le secteur au moment de son passage aux balais. L'échauffement de celui-ci est représenté par $\frac{r}{n} i_1^2 dt$, et la chaleur de l'étincelle par $(V_1 - V_2) i_2 dt$ pendant le temps dt . La somme de ces pertes d'énergie est :

$$\frac{r}{n} i_1^2 dt + (V_1 - V_2) i_2 dt = (V_1 - V_2) i dt + \varepsilon i_1 dt - l i_1 di_1.$$

La perte totale pendant le temps θ est :

$$\int_0^\theta (V_1 - V_2) i dt + \int_0^\theta \varepsilon i_1 dt - \frac{1}{2} (l i_1^2)_0^\theta.$$

Nous choisirons l'origine et la fin de la durée θ un peu avant et un peu après la mise en court circuit, et de telle sorte : 1° que les valeurs initiales et finales de i , soient les intensités $+i$ et $-i$ du courant dans les deux moitiés de l'anneau ; 2° que l'on ait : $\int_0^\theta \epsilon_1 dt = 0$, ou bien, ce qui revient à peu près au même, que la quantité totale $\int_0^\theta i_1 dt$ d'électricité ayant circulé dans le secteur, successivement dans les deux sens, soit nulle. Alors la perte d'énergie pendant ce temps θ se réduit à :

$$\int_0^\theta (V_1 - V_2) i dt.$$

Nous allons chercher ci-après quel doit être le calage des balais pour rendre cette perte minimum.

Faisons remarquer auparavant que l'expression donnée par M. Joubert (*) pour la perte en question, et admise généralement après lui, est inexacte. On la calcule ainsi : Un secteur avant de passer aux balais, possède une somme d'énergie électrique représentée par $1/2 li^2$. Cette énergie est détruite en pure perte pendant que l'intensité i tombe à zéro, la section étant en court circuit. Puis l'intensité continuant à décroître de 0 à $-i$, le secteur acquiert une nouvelle énergie $1/2 li^2$, qui sera dépensée au balai suivant, ce qui donne une perte égale à li^2 par secteur et par tour, soit $Vnli^2$ en tout pendant l'unité de temps. Ce raisonnement est défectueux puisque, l'intensité variant de $+i$ à $-i$, l'énergie emmagasinée dans le secteur, soit $1/2 li^2$, revient à la même valeur, et qu'il n'y a

(*) Voir *Comptes rendus*, 1883. t. 96. p. 641.

pas lieu, par conséquent, de considérer une perte quelconque de ce fait.

La formule trouvée plus haut peut s'écrire :

$$\int_0^0 (V_1 - V_2) i dt = i \int_0^0 (V_1 - V_2) dt,$$

i étant constant, mais devant toutefois être pris positif pour une moitié de l'anneau et négatif pour l'autre. On voit qu'il s'agit de rendre minimum $\int (V_1 - V_2) dt$. La valeur de cette intégrale donne une idée de l'intensité des étincelles, puisque celle-ci augmente avec la différence des potentiels V_1 et V_2 aux deux extrémités du secteur. Or, à la fermeture du secteur sur lui-même, la différence $(V_1 - V_2)$ ne fait qu'aller en décroissant jusqu'à ce que la mise en court circuit soit complète.

Donc dans cette première période $\int (V_1 - V_2) dt$ est très faible relativement; les étincelles sont peu nuisibles. Au contraire, au moment du dégagement du secteur, si la différence entre les intensités du courant dans celui-ci et dans le demi-anneau où il entre est notable, la rupture étant brusque, on pourra avoir des valeurs considérables de $(V_1 - V_2)$, et les étincelles seront dangereuses. Le remède à cet inconvénient, qui paraît primer les autres, consistera évidemment à caler les balais de manière que l'intensité du courant dans le secteur, au moment de la rupture, diffère aussi peu que possible de celle du courant général dans le demi-anneau où il va entrer.

Tant que le secteur est en court circuit, $(V_1 - V_2)$ est nul et :

$$\frac{r}{n} i_1 + l \frac{di_1}{dt} = e.$$

On tire de là par intégration :

$$i_1 = \frac{n\varepsilon}{r} + A e^{-\frac{rt}{nl}}.$$

A étant une constante dépendant de la valeur initiale du courant i_1 pour $t=0$. On voit que i_1 tend vers la valeur limite $\frac{n\varepsilon}{r}$, qu'elle atteint sensiblement avant le dégagement du secteur, pourvu que la durée τ du court circuit soit assez grande. Pour qu'il en soit ainsi, on posera, par exemple :

$$e^{-\frac{r\tau}{nl}} < \frac{1}{100}.$$

ce qui donne :

$$\tau > 2 \frac{nl}{r} \frac{1}{\log e},$$

ou :

$$\tau > 4,6 \frac{nl}{r}.$$

Si la durée τ n'était pas assez grande, au moment de l'ouverture i_1 n'atteindrait pas la valeur $\frac{n\varepsilon}{r}$. Toutefois on peut admettre, au moins comme première base, qu'à ce moment $i_1 = \frac{n\varepsilon}{r}$; et, comme alors i_1 doit être égale à l'intensité i du courant dans la moitié où entre le secteur, il en résulte :

$$i = \frac{n\varepsilon}{r},$$

c'est-à-dire que la force *e. m.* ε , développée dans un secteur au moment où il passe aux balais, doit être capable d'y entretenir à elle seule le courant i (*). Cette

(*) M. Mascart paraît avoir le premier calculé l'angle de calage à adopter en partant de cette condition (*Journal de physique*, août 1885). Toutefois, par suite d'une erreur d'interprétation d'une formule, il arrive à cette

condition indique que l'on doit déplacer les balais dans le sens du mouvement un peu au delà de la ligne neutre. Elle va faire connaître l'angle de calage α à adopter.

La force *e. m.* ϵ se compose de deux parties : 1° la force *e. m.* $-2\pi V p \frac{d\mathcal{E}}{d\alpha}$, induite par l'aimant NS dans une spire, multipliée par le nombre p de spires que contient le secteur, soit : $-2\pi V p \frac{d\mathcal{E}}{d\alpha}$; 2° la force *e. m.* induite par l'anneau même, laquelle est proportionnelle, d'une part au flux de force du courant i et par suite à cette intensité i et au nombre total np de spires, d'autre part au nombre p des spires du secteur induit et à la vitesse V de rotation. Cette dernière force peut donc se représenter par $(-KVnp^2i)$, K étant un coefficient positif puisque cette force tend à s'opposer au courant i comme on peut s'en assurer sur la *fig. 7*. On aura ainsi :

$$\epsilon = -2\pi V p \frac{d\mathcal{E}}{d\alpha} - KVnp^2i,$$

ϵ étant compté positivement dans le sens du courant i .

La condition trouvée plus haut : $\epsilon = \frac{ri}{n}$ donne donc :

$$\frac{ri}{n} = -2\pi V p \frac{d\mathcal{E}}{d\alpha} - KVnp^2i. \quad (1)$$

C'est là la condition pour qu'il n'y ait pas d'étincelles à l'ouverture, tandis que la condition pour que le calage

conclusion que dans les dynamos, lorsque la résistance du circuit extérieur devient très grande, l'angle de calage devient nul ; tandis que l'on sait, par la pratique, que cet angle est à peu près constant et correspond sensiblement à la ligne neutre.

des balais corresponde à la ligne neutre serait : $\epsilon = 0$ ou :

$$2\pi V p \frac{d\epsilon}{d\alpha} + KV n p^2 i = 0, \quad (2)$$

ϵ_0 étant le flux à travers la section de l'anneau située à 90 degrés des pôles N et S ($\alpha = 0$), on peut poser :

$$\epsilon = \epsilon_0 f(\alpha),$$

la fonction f étant égale à 1 pour $\alpha = 0$, puis décroissant jusqu'à zéro pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$, et décroissant encore jusqu'à -1 pour $\alpha = \pi$. La formule (2) devient :

$$-f'(\alpha) = \frac{K}{2\pi} \frac{npi}{\epsilon_0}. \quad (3)$$

L'angle α_0 de calage suivant la ligne neutre est déterminé par cette formule. Si la fonction f était $\cos \alpha$, on trouverait :

$$\sin \alpha = \frac{K}{2\pi} \frac{npi}{\epsilon_0},$$

ϵ_0 étant sensiblement le flux total entre les pôles N et S, et npi étant proportionnel au flux de force dû au courant dans l'anneau, la formule ci-dessus confirmerait, en en précisant les termes, la règle donnée par S. P. Thompson (voir plus haut, *fig. 8*) :

$$\sin \alpha = \frac{OK}{OH}.$$

Mais cette règle s'applique au calage des balais suivant la ligne neutre. Pour la disparition des étincelles, on doit employer la formule (1), qui peut s'écrire :

$$-f'(\alpha) = \frac{K}{2\pi} \frac{npi}{\epsilon_0} \left(1 + \frac{r}{KV n^2 p^2}\right).$$

L'angle de calage α_1 , à adopter diffère donc de l'angle α_0 , et l'on peut poser :

$$f'(\alpha_1) = f'(\alpha_0) \left(1 + \frac{r}{KVn^2p^2} \right),$$

ou encore, en remarquant que $f'(0) = 0$, et que, par suite, $f'(\alpha)$ reste sensiblement proportionnel à α tant que celui-ci ne dépasse pas certaines limites (de 20° à 30° par exemple) :

$$\alpha_1 = \alpha_0 \left(1 + \frac{r}{KVn^2p^2} \right). \quad (4)$$

Exemple. — Soit E la force *e. m.* totale induite, laquelle est égale à $2 Vnp\mathfrak{C}_\alpha$; R la résistance totale du circuit. Si le circuit extérieur ne renferme aucune force *e. m.*, l'intensité du courant dans chaque demi-anneau est :

$$i = \frac{E}{2R} = \frac{Vnp\mathfrak{C}_0}{R} f(\alpha);$$

et l'angle α_0 sera déterminé par la formule (3), qui devient :

$$-\frac{f'(\alpha_0)}{f(\alpha_0)} = \frac{K}{2\pi} \frac{Vn^2p^2}{R}.$$

Tant que la vitesse V est assez faible, α_0 reste lui-même assez petit pour que l'on puisse considérer le premier membre comme proportionnel à α_0 , puisque $f(\alpha)$, étant maximum pour $\alpha = 0$, reste sensiblement constant. On a alors, A désignant une constante :

$$\alpha_0 = A \frac{Vn^2p^2}{R},$$

et, d'après (4) :

$$\alpha_1 = \alpha_0 + \frac{A}{K} \frac{r}{R}.$$

On arrive à ce résultat remarquable que le calage α_1

à choisir est en avance sur le calage α_0 d'un angle constant $\frac{A}{K} \cdot \frac{r}{R}$, qui est proportionnel au rapport de la résistance de l'anneau à la résistance totale du circuit. Nous ne sommes d'ailleurs pas en mesure de calculer l'ordre de grandeur de cette avance constante. Quant à l'angle α_0 , il est proportionnel à la vitesse de rotation, au carré du nombre np des spires de l'anneau, et inversement proportionnel à R .

Lorsque les angles α_0 et α_1 , au lieu d'être petits, approchent de 90 degrés, on peut encore les calculer approximativement. Remarquons, en effet, que pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $f(\alpha)$, qui est proportionnel au flux de force, s'annule; $f'(\alpha)$, qui est proportionnel à la force $e.m.$ induite, est maximum; sa dérivée f'' est nulle. Si l'on pose : $\alpha = \frac{\pi}{2} - \beta$, les développements :

$$f\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) = f\left(\frac{\pi}{2}\right) - \beta f'\left(\frac{\pi}{2}\right) + \frac{\beta^2}{2} f''\left(\frac{\pi}{2}\right) - \dots$$

et

$$f'\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) = f'\left(\frac{\pi}{2}\right) - \beta f''\left(\frac{\pi}{2}\right) + \dots$$

conduisent, en tenant compte des conditions ci-dessus, à la formule très approchée :

$$-\frac{f'(\alpha)}{f(\alpha)} = \frac{1}{\beta}.$$

Par suite les relations

$$\begin{aligned} -\frac{f'(\alpha_0)}{f(\alpha_0)} &= \frac{K}{2\pi} \frac{Vn^2\rho^2}{R}, \\ -\frac{f'(\alpha_1)}{f(\alpha_1)} &= \frac{K}{2\pi} \frac{Vn^2\rho^2}{R} \left(1 + \frac{r}{KVn^2p^2}\right), \end{aligned}$$

donnent pour les compléments β_0 et β_1 des angles de calage :

$$\beta_0 = \frac{2\pi}{K} \frac{R}{Vn^2p^2},$$

et

$$\beta_0 = \beta_1 \left(1 + \frac{r}{KVn^2p^2} \right).$$

Ainsi α_0 est moindre que $\frac{\pi}{2}$ d'un angle β_0 inversement proportionnel à la vitesse V de rotation.

Application aux dynamos. — Il est intéressant de remarquer dès maintenant que les raisonnements ci-dessus s'appliquent exactement au cas d'une machine dynamo à anneau Gramme, sauf la relation :

$$i = \frac{Vnp\mathfrak{E}_0}{R} f(\alpha).$$

Comme le courant général $2i$ circule dans l'électro-aimant inducteur, le champ magnétique de celui-ci, au lieu d'être constant, est simplement proportionnel à i , du moins tant que le fer doux n'est pas près d'être saturé. On a donc :

$$\mathfrak{E}_0 = hi.$$

h étant une constante. Cette relation remplace la précédente :

$$i = \frac{Vnp\mathfrak{E}_0}{R} f(\alpha),$$

et la formule (3) donne alors pour α_0 :

$$-f'(\alpha) = \frac{K}{2\pi h} np.$$

ou bien, en admettant la proportionnalité de $f'(\alpha)$ à α :

$$\alpha_0 = Anp.$$

A étant une nouvelle constante dépendant de la forme

de l'électro inducteur, du nombre de spires enroulées sur lui, etc. Quant à α_1 , sa valeur est :

$$\alpha_1 = \alpha_0 + \frac{A}{k} \frac{r}{Vnp}.$$

Donc, pour une dynamo, tant que les noyaux sont éloignés de leur point de saturation, le calage α_0 correspondant à la ligne neutre est constant ; et le calage α_1 correspondant à la disparition des étincelles est en avance sur lui d'un angle $\frac{A}{k} \cdot \frac{r}{Vnp}$, qui est inversement proportionnel à la vitesse V . Lorsque celle-ci sera très grande, peut-être même pour les vitesses ordinaires des dynamos, les deux calages α_0 et α_1 se confondront sensiblement. Ces résultats concordent parfaitement avec les données de la pratique.

Nous avons développé un peu longuement cette question du calage des balais, en raison des erreurs à rectifier et des points à élucider. Il est bien entendu que les formules que nous avons établies indiquent le sens des résultats, mais ne donnent pas forcément des valeurs numériques exactes ; car elles ont été obtenues grâce à des simplifications et à des hypothèses approximatives. Ainsi, en général, les champs magnétiques dus à l'aimant NS et au courant i ne se superposent pas purement et simplement comme on l'a supposé. — Le champ magnétique dû à l'aimant n'est pas absolument symétrique par rapport à la ligne NS et au plan perpendiculaire en θ . — La durée de la mise en court circuit peut n'être pas suffisante pour que l'intensité du courant dans le secteur atteigne sa valeur limite $\frac{n\varepsilon}{r}$.

— La force *e. m.* ε elle-même n'est pas une quantité invariable pendant la durée du court circuit. — Dans le cas de la dynamo, le champ de l'inducteur n'est pas simplement proportionnel au courant *i*; au lieu de $\varepsilon = hif(\alpha)$, on devrait écrire d'une manière plus générale :

$$\varepsilon = hif(i, \alpha), \text{ etc., etc.}$$

Le cas où la machine est réceptrice, et non plus génératrice, se traiterait de la même manière. L'anneau obéit alors à l'impulsion qu'il reçoit de l'inducteur, et si le courant *i* a la même direction que sur la *fig.* 5, la rotation aura lieu de gauche à droite. La direction et l'intensité du champ magnétique en chaque point ne sont pas changées. Les forces *e. m.* induites ont donc même valeur que dans la rotation de droite à gauche; leur signe seul a changé. Il en résulte que les conditions : $\varepsilon = 0$ (calage des balais suivant la ligne neutre), et : $\varepsilon = \frac{ri}{n}$ (calage correspondant à la disparition des étincelles), donneront les mêmes valeurs pour les angles α_0 et α , que dans le cas de la génératrice. La seule différence avec ce dernier cas est que, la rotation ayant changé de sens, le calage se trouve avoir lieu en arrière et non plus en avant dans le sens du mouvement.

VASCHY.

(*A suivre.*)

NOTICE

SUR

LA POSE DU CABLE SOUS-MARIN

ENTRE LES ILES CANARIES ET LE SÉNÉGAL

Par la loi du 20 avril 1881, un crédit de 1 million 700.000 francs avait été ouvert pour l'établissement d'une ligne sous-marine entre Dakar et Saint-Vincent (îles du Cap-Vert). Cette dernière station étant desservie par le câble du Brésil, nos relations télégraphiques devaient se trouver assurées par cette voie avec les possessions françaises du Sénégal.

La réalisation de ce projet ne devait pas avoir lieu. Tandis que les négociations engagées en vue d'obtenir l'autorisation d'atterrir sur le territoire portugais de St-Vincent traînaient en longueur, une compagnie, qui devait se constituer sous le nom de « Spanish national Submarine Telegraph Company », obtenait du gouvernement espagnol une concession pour relier, au moyen d'une ligne sous-marine entre Cadix et Ténériffe, l'Espagne aux îles Canaries. Elle offrait, en même temps, au gouvernement français de prolonger son câble jusqu'au Sénégal et de l'exploiter après sa pose, supprimant ainsi les charges et les difficultés qu'il pouvait y avoir pour la France dans l'entretien et l'exploitation d'un câble situé à une telle distance.

Les conditions dans lesquelles ce projet devait se réaliser firent l'objet de la convention du 11 juin 1883, ratifiée par les Chambres françaises.

Par ce traité, la Compagnie pour laquelle M. Matthen Gray, directeur général de l' « India Rubber, Gutta-Percha and Telegraph Works Company » se portait fort, s'engageait à établir entre Saint-Louis du Sénégal et Ténériffe un câble sous-marin dont elle prenait à sa charge, et à ses risques et périls, l'exploitation et l'entretien pendant vingt-cinq années.

Tous droits de propriété étaient d'ailleurs acquis à partir de la pose au gouvernement français qui doit, à l'expiration de la période de vingt-cinq ans, le recevoir en bon état avec les instruments d'exploitation, soit pour l'exploiter lui-même, soit pour en faire une nouvelle concession.

La subvention consentie par l'État était de 1 million 700.000 francs, à verser entre les mains du constructeur et payables par sixièmes :

1/6 après la réception de la moitié du câble fabriqué ;

1/6 après la réception de la totalité ;

1/6 après la réception suivant l'embarquement ;

2/6 après la réception du câble posé ;

1/6 six mois après la mise en service du câble, pourvu qu'il réponde encore aux conditions prévues par le cahier des charges.

Le câble, fabriqué dans les ateliers de l' « India Rubber, Gutta-Percha and Telegraph Works Company limited », à Silvertown (Essex), devait répondre aux conditions suivantes prescrites par la spécification annexée à la convention du 11 juin 1883.

Le type demandé pour l'âme est l'un de ceux qui sont le plus fréquemment employés dans la télégraphie

sous-marine. Le conducteur est un toron de sept fils de cuivre dont six sont enroulés en hélices autour du brin central. Il est recouvert de trois couche de gutta-percha parfaitement adhérentes. Le poids de l'âme est par mille marin 1.852 mètres de 111 kilogrammes, le cuivre pesant 48 kilogrammes et la gutta-percha 63.

Le poids du cuivre correspond à un toron de 7 brins d'un diamètre de 0,0007 et celui du dielectrique à une âme d'un diamètre de 0,007.

La résistance du conducteur ne doit pas dépasser 12 ohms par mille marin à la température de 75 degrés Fahrenheit (24° centigrades), ce qui exige un grand degré de pureté dans le cuivre employé. La conductibilité demandée est en effet les 9,10 de celle du cuivre pur.

A cette même température l'isolement mesuré à l'aide d'une pile de force électromotrice égale à celle de 100 éléments Daniel, après une minute d'électrification, ne doit pas être inférieur à 250 mégohms par mille marin. La capacité ne doit pas excéder 0,37 microfarads.

La température des eaux profondes étant extrêmement basse, circonstance qui a pour effet d'augmenter considérablement le pouvoir isolant de la gutta-percha et de diminuer la résistance du cuivre, on demande au câble immergé de présenter par mille marin un isolement d'au moins 750 mégohms et une résistance inférieure à 11°,5, sans correction de température. Six mois après l'immersion, à la dernière épreuve avant le versement du dernier sixième de la subvention entre les mains du constructeur, l'isolement ne doit pas avoir baissé de plus de 100 mégohms au-dessous du précédent minimum.

Quatre types différents étaient fixés pour les différentes sections, suivant les profondeurs auxquelles elles étaient destinées, chacun des types étant caractérisé par le diamètre et le nombre des fils de fer composant l'armature.

1° *Câble des eaux profondes* (Deep sea). — Il se compose de l'âme recouverte d'une garniture de fils de jute tanné appliquée humide, enveloppée de 15 fils d'acier ou de fer homogène galvanisé enroulés en hélice. Par-dessus, une couche de chanvre de Russie et un ruban en toile goudronnée sont enroulés en sens inverse et alternent avec trois couches de composition bitumineuse, la première étant appliquée à froid sur les fils de fer.

Le diamètre de chaque fil de l'armature est de 2,5 millimètres. Ces fils sont assujettis, à la condition d'avoir une tension de rupture de 70 kilogrammes par millimètre carré avec un allongement d'au moins $1/2$ p. 100.

2° *Câble intermédiaire léger*. — L'armature se compose de 10 fils d'acier ou de fer homogène galvanisé, de 3,3 millimètres de diamètre. L'enveloppe protectrice est formée de deux rubans de fils de jute imprégnés d'une composition préservatrice et enroulés en sens inverse.

3° *Câble intermédiaire lourd*. — L'armature se compose de 10 fils de fer Best-Best galvanisés, de 6 millimètres de diamètre.

4° *Câble d'atterrissement* (Shore end). — L'armature se compose de 10 fils de fer Best-Best galvanisés de 9 millimètres de diamètre.

L'enveloppe protectrice pour ces deux derniers types est la même que pour le câble intermédiaire léger.

Les poids par mille des différents types sont les suivants :

1° Deep sea.	1,750 kilogr.
2° Intermédiaire léger.	2,800
3° Intermédiaire lourd.	4,897
4° Shore end.	10,500

Pendant toute la durée de la fabrication, les essais se faisaient à l'usine, de la manière suivante :

Le câble fabriqué par bobines de trois milles environ était essayé avant d'être recouvert de son armature. Chaque bobine livrée à l'essai avait été immergée pendant vingt-quatre heures dans un bain maintenu à la température de 75 degrés Fahrenheit. L'isolement, la résistance et la capacité étaient mesurés sur les bobines encore dans leur bain, et ce n'est qu'après avoir été ainsi reconnues remplir les conditions requises qu'elles étaient soudées au câble en cours de fabrication et recouvertes de l'armature.

Les essais d'isolement, de capacité et de résistance étaient également faits journellement sur les câbles en cours de fabrication. Seulement ces essais devaient être faits à la température même des cuves dans lesquelles ils étaient lovés au sortir de la machine de revêtement. La température était observée d'une part par des thermomètres plongés dans les cuves, d'autre part, par la comparaison de la résistance du cuivre mesurée dans les conditions actuelles avec la résistance obtenue à 75° Fahrenheit. C'est de la température ainsi calculée que l'on se sert pour ramener à 75° Fahrenheit l'isolement mesuré à la température actuelle des cuves.

Chaque soudure était étudiée à l'électromètre Thomson au moyen d'une pile de 300 volts.

	LONGUEUR en milles.	CAPACITÉ		RÉSISTANCE			TEMPÉRATURE calculée		ISOLEMENT	
		totale.	par mille.	totale.	par mille.	observée à 75° F.	degrés Fahrenh.	degrés centigr.	par neud.	par neud à 75° F.
Deep sea . . . { 1 ^{re} section. 2 ^e section. 3 ^e section. 4 ^e section. 5 ^e section. 6 ^e section.	182,32	56,272	0,309	2017,4	11,06	2074,97	61,5	16,5	1347	483
	68,88	21,236	0,310	763,1	11,09	779,78	64,5	18,0	1296	583
	260,76	79,322	0,305	2889,1	11,09	2956,00	64,5	18,0	1642	739
	119,64	37,272	0,303	1325,0	11,07	1352,17	65,5	18,5	1220	592
	213,49	65,425	0,306	2344,5	10,98	2431,25	58,0	14,5	2532	696
	143,51	43,919	0,306	1584,9	11,04	1630,73	61,5	16,5	1525	546
Intermédiaire { léger { 1 ^{re} section. 2 ^e section.	44,02	13,427	0,305	492,7	11,19	500,98	67,0	19,5	2104	1145
	20,98	6,336	0,302	235,9	11,22	239,99	67,0	19,5	1357	739
Intermédiaire lourd Shore end	9,00	2,736	0,304	100,2	11,13	102,82	62,5	17,0	2481	960
	5,00	1,554	0,314	55,66	11,13	56,72	66,0	19,0	2803	1412

Sans donner ici les résultats de ces essais journaliers, faisons seulement connaître les chiffres obtenus lors de la réception qui suivit la fin de la fabrication le 25 juillet 1884.

Le navire chargé de la pose du câble était le *Silvertown*. Le départ de l'expédition ne devait avoir lieu qu'à la fin du mois d'octobre. On arriverait ainsi au Sénégal à la fin de l'hivernage à l'époque où le climat est le plus tempéré et où les côtes de cette contrée sont le plus salubres. Cependant un autre navire de la compagnie, l'*International*, qui allait poser un câble entre deux des îles du Cap-Vert, Saint-Vincent et San Iago et relier ainsi la capitale de l'archipel, Porto-Praya au câble du Brésil, emportait avec lui le câble d'atterrissement des Canaries et devait, à la fin de ses opérations, effectuer une ligne de sondages entre Dakar et Ténériffe, préparant le travail au *Silvertown* qui n'aurait plus à faire que le déroulement du câble.

L'*International* quittait la Tamise le 4 septembre 1884 et, après avoir fait l'atterrissement de Ténériffe, posé le câble des îles du Cap Vert et fait la ligne de sondages, rentrait à Santa-Cruz de Ténériffe le 9 novembre, dans la matinée. Le *Silvertown* qui, après l'embarquement du câble du Sénégal, avait quitté Londres le 24 octobre, arrivait dans ce même port quelques heures auparavant après avoir effectué sur sa route la pose d'un câble entre Arecife (île de Lanzarote) et Las Palmas (grande Canarie).

Sondages de l'International.

L'*International* avait dans sa campagne étudié complètement les fonds de l'Océan dans les parages où de-

vait reposer le câble. Cette partie n'avait été que peu explorée avant le voyage du *Talisman*, en 1883. Les seuls résultats connus avaient été donnés par le *Challenger*. Mais les sondages opérés par ce navire se trouvaient un peu à l'O. de la route à adopter pour la pose du câble. Les sondages du *Talisman* donnaient déjà des indications très importantes sur les fonds de ces parages. Mais la campagne scientifique du *Talisman* avait surtout en vue d'explorer le fond de la mer au moyen de dragages, et les sondages n'étaient qu'une indication donnant une notion sommaire de la nature du fond et faisant connaître la quantité de câble à filer pour le chalut. Aussi, au point de vue de la campagne actuelle, les résultats qu'il a donnés se trouvaient-ils espacés trop irrégulièrement sur la carte et, tout en les utilisant, devait-on faire une ligne de sondages plus complète.

Au mois d'août 1884, le *Dacia*, steamer appartenant, comme le *Silvertown* et l'*International*, à l'India Rubber, Gutta-Percha and Telegraph Worles Company, avait, au retour d'un voyage au Brésil, effectué quelques nouveaux sondages entre Dakar et Ténériffe en suivant une route possible du câble. Il avait été directement d'un point à l'autre en se tenant à une distance de 60 à 80 milles de la côte et s'arrêtant pour sonder de 40 milles en 40 milles environ. Les fonds se présentèrent régulièrement à des profondeurs de 1.200 à 1.400 brasses, sauf en approchant de l'île de Ténériffe, où les fonds accusaient 1.800 à 1.900 brasses (la brasse vaut 1^m,83).

L'*International* devait effectuer un travail plus complet à son retour des îles du Cap-Vert. Le 21 octobre 1884, il était au large du cap Manuel et de ce point

se rendait à Ténériffe en suivant une ligne brisée dont les côtés se trouvaient alternativement orientés approximativement du S.-O. au N.-O. et du S.-O. au N.-E. Tous les 12 milles environ on faisait un sondage et l'on en fit ainsi 195 avant d'atteindre les Canaries. Il en résultait une connaissance approfondie du fond de l'Océan, et la route du câble pouvait être déterminée en connaissance de cause. De ces opérations, il ressort que, sauf dans le voisinage des îles Canaries où il subit une dépression considérable, le fond de la mer, dans tous les parages explorés, s'abaisse par pente graduelle en s'éloignant de la côte et ne semble pas présenter d'accidents ni d'irrégularités. Les fonds sont constamment composés d'une boue tantôt grise, tantôt verdâtre, sans que l'on trouve trace de roc, circonstance qui ne peut qu'être favorable à la conservation du câble.

Atterrissage à Ténériffe.

Le point d'atterrissage du câble a été choisi dans la petite baie de Tegita, située au S. de l'île par suite des considérations suivantes :

L'île de Ténériffe, formée de terrains volcaniques très escarpés, se termine dans toute l'étendue de sa côte orientale par des rochers qui semblent se prolonger jusqu'au fond de la mer en pente très raide. Tout le bras de mer compris entre Ténériffe et la grande Canarie est garni de roches et de bancs de corail qu'on ne saurait éviter en sortant de Santa-Cruz, capitale de l'île et voisine de la pointe N.-E. pour gagner la pleine mer au S. de l'archipel. Bien que Santa Cruz fût déjà le point d'atterrissage du câble de Cadix aux Cana-

ries, il a paru préférable de faire atterrir le câble du Sénégal dans la baie de Tegita, ce qui permet d'éviter les points dangereux dont nous venons de parler et présente au point de vue de sa conservation des garanties beaucoup plus grandes.

Dans la baie se trouve une belle plage de sable complètement abritée des vents du N. et du N.-E., les seuls à peu près qui soufflent dans l'archipel des Canaries. La mer y est toujours très calme. Les navires n'y mouillent pas, car ce point se trouve à l'écart des routes ordinairement suivies ; quant aux fonds sur lesquels doit reposer le câble, on trouve du sable et de la boue, rarement quelques débris de coquilles ; on peut gagner la pleine mer sans rencontrer de roc. Un petit câble côtier d'une trentaine de milles suffit pour assurer la communication avec Santa-Cruz et, par suite, avec Cadix. Le câble d'atterrissement avait été posé en ce point par l'*International*. Il avait une longueur de trois milles marins et se trouvait ainsi composé :

1 mille de shore end,
1 mille d'intermédiaire lourd,
1 mille d'intermédiaire léger.

Cette longueur suffisait pour atteindre des fonds d'environ 600 brasses. L'extrémité attachée à une bouée devait être relevée par le *Silvertown*.

La guérite où le câble avait été amené se trouve sur un petit tertre adossé contre le mont Roja, qui protège la baie à l'E. et ses coordonnées géographiques sont les suivantes :

Latitude N.	27° 59' 38"
Longitude O. de Greenwich.	16° 32' 45"

(Pour passer du méridien de Greenwich au méridien

T. XIII. — 1886.

5

de Paris, il suffit d'ajouter aux longitudes comptées à partir du premier au 2° 20' 30".)

Pose du câble de mer profonde.

Le *Silvertown*, après avoir posé le câble côtier destiné à assurer la communication de Tegita avec Santa-Cruz, se trouvait prêt, le 17 novembre, à effectuer le déroulement du câble.

Les opérations étaient dirigées par M. Robert Kay Gray, ingénieur en chef de l'India Rubber, Gutta Perka and Telegraph Works Company, assisté de MM. Matthew Gray, Smith et Benest, ingénieurs de la Compagnie (le premier venait de diriger la campagne de l'*International*), de MM. Webb, Jones et Seaton, électriciens.

Le navire était conduit par le capitaine Thomson.

Le gouvernement français était représenté par MM. Thomas et Couzy, ingénieurs des télégraphes chargés de la surveillance et du contrôle de toutes les opérations, et par M. Laporte, ingénieur hydrographe de la marine, plus particulièrement chargé de choisir le point d'atterrissement du câble sur la côte du Sénégal.

La Spanish national submarine Telegraph Company, chargée de l'exploitation du câble, avait à bord son ingénieur en chef, le capitaine Hunter.

Dans la matinée du 17 novembre le *Silvertown*, mouillé depuis la veille dans la baie de Tegita se reliait au câble d'atterrissement et se préparait à commencer le déroulement. La route à suivre avait été déterminée d'après les résultats des sondages effectués par l'*International*. Sauf à la sortie de l'archipel des

Canaries, où le fond de l'Océan présente une dépression de 1.900 à 2.000 brasses qu'il n'est pas possible d'éviter, le câble, d'après le parcours choisi, devait être maintenu à des profondeurs presque toujours comprises entre 1.400 et 1.600 brasses. La profondeur avait été choisie aussi uniforme que possible, autant que cette uniformité pouvait être maintenue sans allonger le parcours et sans provoquer des changements de direction trop fréquents. Le câble devait être posé dans ces conditions jusqu'à la latitude de Saint-Louis, et là fixé à une bouée pendant que le littoral de la colonie serait exploré en vue du choix de l'atterrissement pour lequel les deux villes de Saint-Louis et de Dakar étaient mises l'une et l'autre en avant.

Le 17 novembre à 11^h,45 du matin, le *Silvertown* commençait le déroulement par une mer absolument calme, qui devait se maintenir dans ces conditions favorables pendant les quatre jours de l'opération.

Direction suivie par le navire :

Pendant les quatre premiers milles	S. 8° E.
Le reste de la journée.	S. 15° O.

18 novembre. — Même direction : S. 15° O.

Position à midi :

Longitude O. de Greenwich.	17° 30' 00"
Latitude N.	24° 49' 04"

A 2 heures. Ralentissement et arrêt du navire pour passage d'une épissure et changement de cuve :

Longueur de câble déroulé à 4 heures du soir. . .	232,94 milles.
Longueur parcourue par le navire.	220,75
Mou moyen.	5,86 p. 100.

La vitesse moyenne du navire a été de plus de 8 nœuds. Elle a atteint presque 9 nœuds au commen-

cement du déroulement, au passage des grands fonds rencontrés en quittant Ténériffe.

Le fond le plus considérable a été de 1.979 brasses. En s'éloignant des Canaries, les fonds s'élèvent et la profondeur minima rencontrée dans les vingt-quatre heures est de 1.426 brasses.

19 novembre. — Même direction : S. 15° O.

Position à midi :

Longitude O. de Greenwich.	18° 24' 00"
Latitude N.	22° 08' 05"
Longueur déroulée pendant 24 heures.	187,03 milles.
Longueur parcourue par le navire.	176 milles.
Vitesse du navire.	7,3 nœuds.
Mou moyen.	6,28 p. 100.

La profondeur a varié dans les vingt-quatre dernières heures entre 1.600 et 1.289 brasses.

20 novembre. — Directions successives : S. 3° E. et S. 17° E.

Position à midi :

Longitude O. de Greenwich.	18° 41' 00"
Latitude N.	19° 15' 00"
Longueur déroulée pendant 24 heures.	193,92 milles.
Longueur parcourue par le navire.	179 milles.
Vitesse du navire.	7,4 nœud.
Mou moyen.	8,3 p. 100.

La profondeur reste à peu près constante et ne varie qu'entre 1.550 et 1.634 brasses.

21 novembre. — Directions successives : S. 14° E. et S. 18° E.

Longueur de câble déroulé du 20 à 4 heures du soir au 21 à 11 ^h ,30	144,36 milles.
Longueur parcourue par le navire.	134 milles.
Vitesse du navire.	6,8 nœuds.
Mou moyen.	7,73 p. 100.

A 11^h 30^m, le *Silvertown* se trouve au point qui a été choisi pour laisser le câble à une bouée pendant

l'inspection de la côte du Sénégal, ayant déroulé une longueur totale de 758,25 milles en quatre jours.

Ce point avait été choisi assez au large pour que l'on pût de là se rendre soit sur St-Louis, soit sur Dakar, sans donner à la route suivie un allongement inutile.

La sonde accuse en cet endroit une profondeur de 1.478 brasses.

Les coordonnées géographiques du lieu sont les suivantes :

Latitude N.	16° 35' 24''
Longitude O. de Greenwich.	17° 54' 55''

A trois milles environ au S., on place, comme mesure de précaution, une autre bouée, dite *bouée de marque*, dont la position est ainsi déterminée :

Latitude N.	16° 32' 36''
Longitude O. de Greenwich	17° 55' 30''

L'*International*, parti de Tegita en même temps que le *Silvertown* et portant à son bord les employés français qui devaient être chargés de l'exploitation du câble au Sénégal, allait rester dans le voisinage des bouées pour les surveiller et les éclairer pendant la nuit, tandis que le *Silvertown* faisait voile directement vers la côte qui devait être explorée au point de vue du choix de l'atterrissement.

Le point qui fut choisi se trouve sur la côte de Barbarie, vaste plage de sable située entre la mer et le fleuve du Sénégal, qui coule parallèlement au rivage pendant plusieurs kilomètres avant d'arriver à sa barre. Il est en face de la ville de Saint-Louis, dans le village N'Dar Tout, un peu au nord de Guet N'Dar. Les fonds qui bordent le rivage sont formés de sable vasard dans lequel le câble doit s'enfoncer une fois

posé sans avoir, dans la suite, rien à redouter des brisants. Au large, les fonds sont également excellents, à l'exception de deux ou trois bancs de roches parfaitement connus et faciles à éviter, et le câble peut être conduit aux grandes profondeurs sans rencontrer autre chose que du sable et de la vase.

Pour conduire le câble jusqu'au bureau télégraphique de l'État, il resterait à construire une ligne souterraine d'environ 800 mètres et à immerger un câble de 200 mètres dans le bras du fleuve compris entre Guet N'Dar et Saint-Louis.

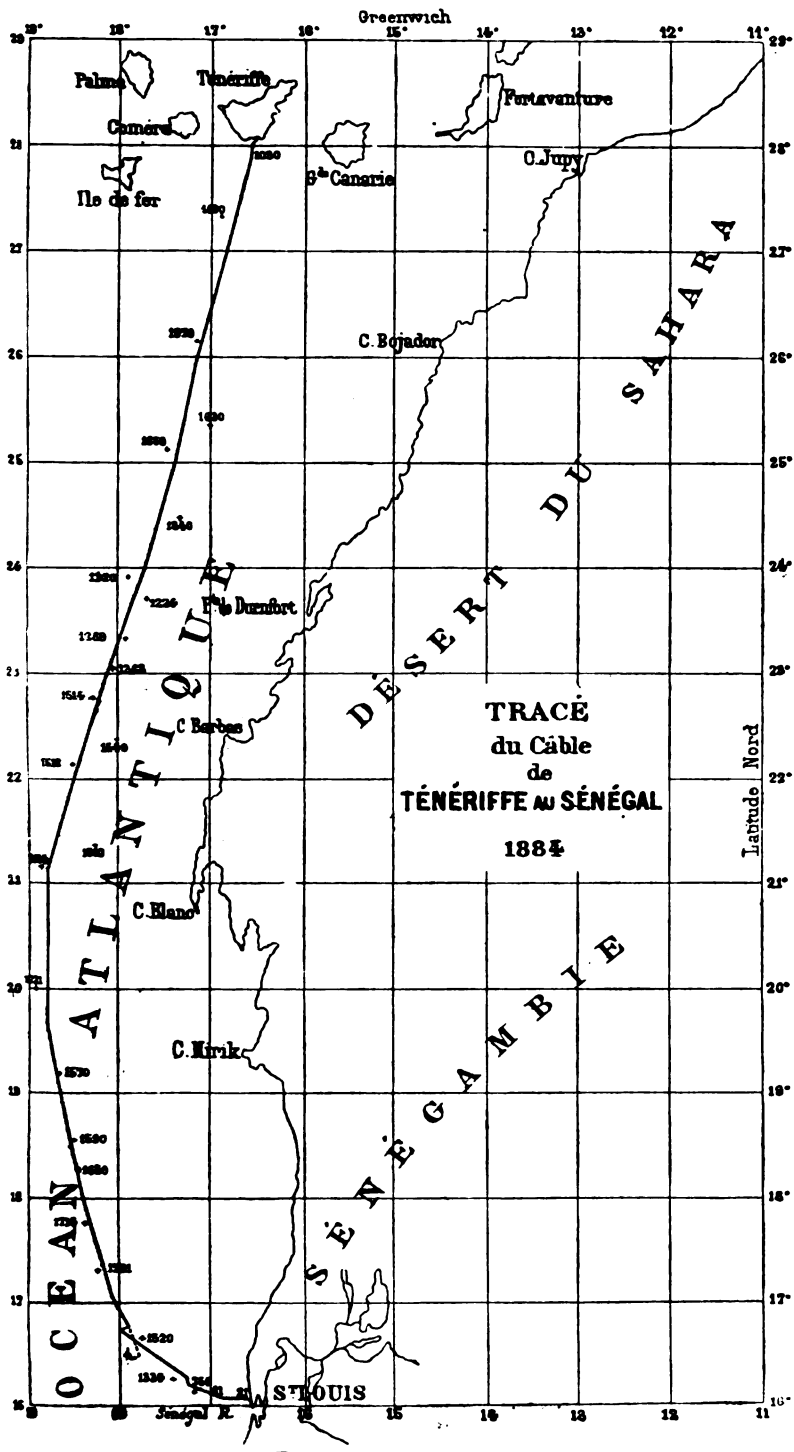
Fin des opérations. — Atterrissage à St-Louis.

Après l'exploration de la côte et le choix du point d'atterrissage, le *Silvertown* était de retour le 1^{er} décembre à la bouée pour relever le câble.

L'opération ne fut pas heureuse. Le câble se rompit en arrivant à la poulie d'avant et retomba à la mer par une profondeur de 1.478 brasses. Alors commencèrent les opérations de dragage nécessaires pour le retrouver au fond de l'eau. Une bouée de marque destinée à servir de point de repère fut, avant tout, placée au point de départ, puis le grapin fut descendu au fond de la mer.

2 décembre. — Le navire se met en marche à 2 heures du matin à une allure extrêmement lente dans une direction perpendiculaire au câble. Il le dépasse trois fois sans le saisir. On peut constater combien les fonds sont bons, car le grapin ne rencontre pas le moindre roc, et on peut bien augurer du résultat final des opérations.

A 4 heures du soir, le grapin est relevé.



A 10 heures, il est de nouveau au fonds de la mer. Une course d'environ 8 milles, de l'ouest à l'est, ne donne pas de résultats.

3 décembre. — Le navire revient de l'est à l'ouest.

Vers midi, la tension du dynamomètre indique que le grapin a saisi le câble. On le relève jusque près du bord et on le sépare en deux parties. Une petite section de 3 milles environ est laissée à une bouée qui doit être relevée plus tard. La partie qui correspond à la grande longueur est amenée jusqu'à la poulie d'avant. Elle se rompt en franchissant cette poulie. Le câble retombe au fond de l'eau et tout le travail précédent est perdu.

Le même soir, un nouveau coup de grapin est donné sans résultat.

4 décembre. — A 5 heures du matin, le navire allant de l'est à l'ouest, le câble est saisi une seconde fois et se rompt encore en arrivant à bord.

Les opérations devant être reportées plus au nord, on place une nouvelle bouée de marque à 6 milles environ au nord de la première.

A 11 heures du matin, le navire part de cette bouée et recommence le dragage en croisant le câble de l'est à l'ouest. A 5 heures du soir, le câble est saisi à nouveau par le grapin et cette fois ramené à bord avec succès.

5 décembre. — A une heure du matin, l'épissure étant terminée, le *Silvertown* se met en marche dans la direction S. 58° E., reprenant le déroulement du câble.

A midi, 65,16 milles ont été déroulés. Arrêt pour le passage de l'épissure du Deep Sea et de l'intermédiaire léger.

28 milles de ce type sont déroulés. Le navire est à 15 milles environ du rivage. La sonde n'accuse plus que 56 brasses. De ce point jusqu'à la côte les fonds qui viennent de se relever assez brusquement se maintiennent à de faibles profondeurs et diminuent en suivant une pente très douce.

Le câble est laissé à une bouée dont la position est ainsi définie :

Latitude N.	16° 04' 00"
Longitude O. de Greenwich.	16° 48' 55"

Le *Silvertown* se rend alors au large de Guet N'Dar pour procéder à l'atterrissage.

6 décembre.— Le *Silvertown* s'approche à 900 mètres du rivage. Le personnel et le matériel nécessaires sont conduits sur la plage dans les baleinières du navire, et à trois heures de l'après-midi le câble est conduit à terre.

Deux poulies étaient disposées horizontalement sur la plage à une centaine de mètres de distance l'une de l'autre suivant une ligne parallèle au rivage. Une longue amarre, reliée au câble qui devait se dérouler sur la poulie d'arrière du *Silvertown* avait été portée jusqu'à la plage, passait sur les deux poulies et revenait au navire à la machinerie de relèvement employée de cette manière à faire le tirage. Le câble fut ainsi conduit facilement à terre supporté par des ballons flotteurs de distance en distance. Cette manière d'opérer est également celle qui avait été employée pour l'atterrissage de la baie de Tegita.

7 décembre.— A 4 heures du matin, le navire se met en marche pour terminer le déroulement et rejoindre la bouée.

Directions successives :

Pendant 4 milles.	N. 48° 0.
Pendant 1,5 mille.	N. 89° 0.
Et enfin.	S. 83° 0.

A 8^h,20, arrêt pour laisser passer l'épissure entre l'intermédiaire lourd et l'intermédiaire léger. On a déroulé 4 milles de shore end et 8 milles d'intermédiaire lourd.

Les fonds en cet endroit sont d'environ 50 brasses. Les quatre milles de shore end déroulés à partir de Guet N'Dar conduisaient jusqu'aux fonds de 20 brasses. Le plus souvent chacun de ces types est employé jusqu'à des profondeurs supérieures à celles qui furent acceptées dans le cas actuel. Mais on pouvait ici les admettre, le câble ne devant, sur tout son parcours jusqu'aux grandes profondeurs, rencontrer que d'excellents fonds de sable où il reposait en toute sécurité.

A 8^h,55, après avoir déroulé encore 3,75 milles d'intermédiaire léger, le *Silvertown* arrive à la bouée et laisse filer encore un peu de câble.

L'*International*, navire beaucoup plus facile à manier que le *Silvertown*, relève les deux extrémités du câble reliées l'une aux Canaries, l'autre au Sénégal, et la dernière épissure est faite à son bord à 4 heures du soir, assurant la communication entre Saint-Louis et Ténériffe.

Le tracé du câble près de Saint-Louis est marqué par deux bouées rouges qui en déterminent l'alignement dans les parages où les navires sont susceptibles de mouiller.

Les différentes longueurs de câble déroulé avaient été les suivantes :

Atterrissage de Ténériffe	3 milles.
Deep sea déroulé dans la première opération . .	758,25
	761,25
Retranché dans les opérations de dragage . . .	6,65
	754,60
Deep sea déroulé dans la seconde opération. . .	65,16
Intermédiaire léger	31,75
Intermédiaire lourd	8,00
Shore end.	4,00
Longueur totale.	763,51 milles.

Entre la guérite d'atterrissage de Guet N'Dar et le bureau télégraphique de l'État, il ne restait plus qu'à construire une ligne souterraine, longeant d'abord la rive droite du fleuve à Guet N'Dar, traversant le bras droit du Sénégal en face de la place du gouvernement, traversant cette place et les jardins du Gouvernement et débouchant par là dans le bureau télégraphique.

La longueur de la ligne souterraine était de 800 mètres, celle de la ligne sous-fluviale de 200 mètres. Le câble enfoui dans la tranchée était du deep sea, le câble immergé dans le fleuve de l'intermédiaire léger. Par surcroît de précaution, deux câbles ont été placés dans la tranchée, deux câbles ont été immergés.

La guérite d'atterrissage ayant été achevée le 10 décembre, les essais de réception y furent faits le 11 et le câble fut aussitôt après livré à l'exploitation.

Essais pendant l'immersion.

Pendant toute la durée du déroulement, des observations furent faites à terre comme à bord d'une façon constante pour constater la continuité et le bon isolement du câble.

L'installation à terre (baie de Tegita) est représentée par le croquis ci-joint.

Le courant d'une pile d'essai du bateau est émis sur le câble d'une manière permanente. Le câble à terre est relié aux deux condensateurs c et c , réunis en quantité et dont l'un est un condensateur gradué. Il se trouve ainsi isolé dans toute son étendue et l'isolement est constamment observé à bord.

Toutes les cinq minutes on prend à terre la décharge du condensateur toujours chargé au potentiel du câble. On doit donc toujours observer la même décharge. A la suite de chacune de ces expériences on joint le câble à une résistance de 100.000 ohms. Le câble est alors à la terre à travers une grande résistance et le galvanomètre du bord doit accuser à chaque fois la même déviation.

En temps ordinaire, la caisse de résistances est garnie de ses chevilles et le condensateur a ainsi une de ses armatures à la terre sans résistance. •

En fermant la clef A on a le courant de décharge des condensateurs. Pour mettre le câble à la terre à travers la grande résistance, il suffit, au contraire, de mettre les chevilles des condensateurs et d'enlever celles de la caisse de résistance de 100.000 ohms.

Un galvanomètre G , permet d'ailleurs la correspondance entre le bateau et la terre. Il suffit de relier les bornes 2 et 3 du commutateur, au lieu de relier 1 et 3 comme pour les essais.

Essais de réception.

Les essais de réception ont été faits le 11 décembre dans la guérite de Guet N'Dar, par MM. Thomas et

Couzy, ingénieurs des télégraphes français, assisté en présence de M. Webb, électricien en chef de l'India Rubber, Gutta Percha and Telegraph Works Company.

Les résultats de ces essais ont été les suivants :

Le courant de terre observé sur le câble donnait à l'aiguille du galvanomètre une déflexion de 62 divisions avec le shunt au $1/100$ et agissait comme courant positif. Un condensateur chargé successivement par ce courant et le courant positif d'un élément Leclanché a donné des décharges de 472 et 426 divisions. Le câble se trouvait donc siège d'une force électromotrice un peu supérieure à celle d'un élément Leclanché.

La résistance du cuivre a été étudiée au moyen de 12 observations différentes, six avec le courant négatif, six avec le courant positif d'une pile de 72 éléments Leclanché.

Avec le courant négatif les résultats ont été les suivants :

1	8831		4	8966
2	8843		5	8976
3	8906		6	8977

Avec le courant positif :

1	9215		4	9055
2	9253		5	9042
3	9084		6	9038

En prenant comme valeur de la résistance la moyenne des deux derniers résultats de chacune de ces séries l'une croissante, l'autre décroissante, on peut admettre le nombre :

$$9007^{\circ},5$$

La longueur du câble étant $863^{\text{milles}},5$, la résistance par kilomètre est :

$$10^{\circ},43$$

La capacité a été observée au moyen d'une pile de 5 éléments Leclanché.

Un condensateur de un microfarad chargé par cette pile donne une décharge de 212 divisions avec le shunt au 1/10. Le câble, après 30 secondes d'électrification, donne une décharge de 470 divisions avec le shunt au 1/1.000. Il en résulterait une capacité totale de 221,7 microfarads et une capacité par mille marin de 0^r,256. Ce résultat est évidemment inférieur à la valeur réelle de la capacité. Par suite de la grande longueur du câble, la décharge ne peut s'opérer pendant une élancement de l'aiguille du galvanomètre et le chiffre obtenu par cette méthode est nécessairement trop faible. D'après les expériences faites sur les sections en cours de fabrication, la capacité par mille est d'environ 0^r,305.

L'isolement a été étudié en émettant le courant négatif d'une pile de 90 éléments Leclanché pendant 30 minutes dans le câble, observant les déviations du galvanomètre de minute en minute, observant la décharge pendant 30 autres minutes, puis opérant ensuite de même avec le courant positif de la même pile.

Les déviations de l'aiguille du galvanomètre ont été les suivantes :

Courant négatif.

1 sh. 1/10. . .	330	10	107
2	240	11	104
3	179	12	101
4	153	13	98
5	134	14	95
6	129	15	91
7	125	20	81
8	117	25	77
9	112	30	70

Courant de décharge.

1 sh. 1/10. . .	240	10 (Sans shunt). 340
2	125	11 315
3	92	12 295
4	74	13 285
5	60	14 275
6	53	15 260
7	46	20 185
8	41	25 146
9 (Sans shunt). 390		30 122

Courant positif.

1 (sh. 1/10) . .	310	10 100
2	199	11 96
3	160	12 92
4	142	13 90
5	130	14 88
6	120	15 85
7	115	20 74
8	108	25 71
9	104	30 68

Courant de décharge.

1 (sh. 1/10). .	233	9 (Sans shunt). 350
2	123	10 315
3	92	11 285
4	71	12 265
5	62	13 250
6	53	14 235
7	45	15 230
8	39	20 195

La constante du galvanomètre a quelque peu varié pendant la durée des observations. Sa valeur moyenne est 58.800.

Après une minute d'électrification par le courant négatif, la déviation du galvanomètre étant de 380 divisions avec le shunt au 1/10, l'isolement total est de 17^a,8, et l'isolement par mille marin de 15,300 mégohms.

Tel est le résumé des différentes opérations, fabrica-

tion, pose, essais du câble qui depuis un an relie le Sénégal directement aux îles Canaries, indirectement à l'Europe. Les expériences qui, six mois après la pose, le 11 juin 1885, ont été faites à Tegita par M. Thomas et par M. Parsoné, représentant de l'India Rubber Company et à la suite desquelles le dernier sixième de la subvention devait être versé par le gouvernement français, ont permis de constater qu'il s'était maintenu dans les conditions les meilleures au point de vue de son état électrique, présentant à cette époque un isolement par mille marin de 12.350 mégohms.

Ce câble, en outre de ce qu'il répondait à un besoin de premier ordre, reliant télégraphiquement à la France une colonie de l'importance du Sénégal et permettant une communication rapide avec nos postes les plus éloignés de l'intérieur des terres (Il ne reste plus, en effet, à construire qu'un faible tronçon intermédiaire d'une ligne aérienne allant de Saint-Louis à Bafoulabé sur le haut Sénégal et jusqu'à Bamakou sur le Niger), offre encore l'intérêt d'être le premier qui ait fonctionné entre l'Europe et la côte occidentale d'Afrique.

Mais déjà une compagnie s'est formée pour l'établissement et l'exploitation d'une série de câbles desservant les principaux points de la côte africaine jusqu'au cap de Bonne-Espérance et leur donnant deux points de départ, l'un à Saint-Louis du Sénégal, l'autre à Porto-Praya dans l'île de Santiago (archipel du Cap-Vert). Une double communication est ainsi assurée avec l'Europe, l'une par le câble du Sénégal, dont nous venons de décrire la pose, et par le câble de Cadix aux Canaries, l'autre par le câble de Saint-Vincent à Santiago, que l'*International* a posé dans sa campagne du mois de septembre 1884, dont nous avons eu occasion

de parler, et par le câble du Brésil, *vid* Saint-Vincent, Madère et Lisbonne.

La compagnie constituée dans ce but porte le nom de West African Telegraph Company.

La France ayant au S. du Sénégal de nombreuses possessions sur cette côte est particulièrement intéressée au succès de l'entreprise. Aussi le gouvernement a-t-il accordé à la West African Telegraph Company une subvention en exigeant que ses comptoirs les plus importants soient desservis par les câbles à poser.

Quatre stations françaises sont ainsi appelées à profiter de l'établissement de ces lignes sous-marines :

Konakry,
Grand Bassam,
Porto Novo,
Gabon (Libreville).

Sur les quatre points à relier, deux, laissés au choix de la compagnie, seront placés sur le câble principal, sauf le cas de difficultés techniques dûment constatées. Dans tous les cas, l'une au moins des quatre stations doit être placée sur le câble principal, les autres pouvant être desservies par des embranchements.

H. THOMAS.

ÉTUDES

SUR LA THÉORIE DU TÉLÉPHONE

L'usage du téléphone, au point de vue télégraphique proprement dit, devient de plus en plus général, et les essais récents de télégraphie téléphonique à grande distance sur les fils aériens et souterrains ayant donné des résultats satisfaisants, des recherches faites en vue d'éclairer la théorie du téléphone nous ont paru devoir présenter quelque intérêt pour les lecteurs des *Annales*, d'autant plus que ces études, d'abord théoriques, ont conduit à la construction d'appareils nouveaux susceptibles d'être utilisés dans la pratique.

Une étude complète du téléphone électro-magnétique comporte trois recherches principales, savoir :

I. Recherche du mécanisme en vertu duquel des ondes sonores simples, comme celles des sons musicaux, ou complexes, comme celles de bruits ou de la parole articulée, font varier le champ magnétique d'un aimant où se trouve une lame de fer ou d'acier, et produisent ainsi dans une hélice qui entoure l'aimant des courants induits.

II. Recherche de la nature intime de ces courants.

III. Recherche du mécanisme en vertu duquel la propagation de ces courants dans un appareil semblable au transmetteur, permet de reproduire les sons ou

bruits qui leur ont donné naissance, avec leur hauteur, leur timbre, leur complexité, sauf une réduction considérable d'intensité.

De ces trois genres de recherches, le second n'a guère donné lieu qu'à des études théoriques, basées sur des hypothèses relatives au mécanisme qui doit faire l'objet du premier, et à quelques expériences en vue de déterminer l'intensité des courants induits téléphoniques.

Le troisième, au contraire, a été effectué, on peut le dire, sous presque toutes les faces, au point de vue expérimental, dans le but de chercher à accroître l'intensité des effets produits. Une quantité considérable de mémoires ont été publiés à ce sujet dans la plupart des pays du monde ; mais il est à remarquer que dans le plus grand nombre de ces recherches, on ne s'est pas servi comme transmetteur du récepteur lui-même, en profitant de sa réversibilité : on a employé des transmetteurs microphoniques à pile, dont les effets sont plus intenses, mais qui compliquent au fond les études de cette espèce.

Quoi qu'il en soit, peu de personnes ont cru devoir s'occuper de l'étude du *transmetteur* électro-magnétique lui-même et de son perfectionnement. Et l'on est étonné de lire, dans des livres scientifiques où la question du téléphone est traitée, que la théorie du téléphone électro-magnétique *transmetteur* n'offre pas de difficultés ! Je crois qu'il serait certainement plus exact d'affirmer que cette théorie n'a pas encore été véritablement étudiée.

Jusqu'à présent, en effet, on s'en est à peu près tenu aux explications données par M. G. Bell dans son mémoire présenté à la Société des ingénieurs-télégra-

phistes de Londres, le 31 octobre 1877. Or, dans ce mémoire, si remarquable d'ailleurs, M. G. Bell a défini ce qu'il entend par courants ondulatoire, courants qui se succèdent d'une manière continue avec des intensités successivement croissantes et décroissantes; il a soutenu la nécessité de leur emploi pour reproduire, par des moyens électro-magnétiques, la parole articulée; mais le mécanisme même en vertu duquel ces courants sont produits, n'est pas nettement expliqué; toutes les explications à ce sujet se réduisent à dire que les courants en question sont les courants d'induction qui résultent des rapprochements et des éloignements de l'armature vibrante qui est en face du pôle d'un aimant, sous l'influence des ondes aériennes produites par la voix.

Et jusqu'à ce jour (du moins à ma connaissance), on n'a pas donné d'autre explication du mécanisme en vertu duquel l'énergie sonore, renfermée dans les ondes aériennes si complexes produites par la voix humaine est transformée en énergie électrique cinétique, sous la forme de courants induits, dits ondulatoires, par suite de l'interposition, entre les ondes et le pôle d'un aimant entouré d'une hélice, d'un diaphragme en matière magnétique comme le fer ou l'acier.

Je commencerai par indiquer une série de recherches, faites en vue de rendre compte, autant que possible, de ce mécanisme.

THÉORIE DU TRANSMETTEUR.

I. *Étude du diaphragme au point de vue élastique.*

Bien que ce ne soit nullement nécessaire, le diaphragme des téléphones a la forme d'un disque mince

en fer ou en acier. Avant de l'étudier au point de vue spécial de son application au téléphone, il était indispensable de l'étudier en lui-même, au point de vue de ses propriétés élastiques ou acoustiques.

Dans un travail précédent (*) j'ai étudié les vibrations des lames en fer et en acier de forme rectangulaire allongée : j'ai montré que la formule (1) $n = K \frac{e}{L}$ qui en résume les lois, et dans laquelle n est le nombre de vibrations complètes, e , l'épaisseur, L , la longueur, K , un coefficient égal à 5.320.134 pour le fer ou l'acier, est suffisamment exacte pour qu'on puisse construire des lames rectangulaires donnant à 1 ou 2 p. 100 près, le son calculé d'avance d'après leurs dimensions.

A ce moment, la vérification n'avait porté que sur les lames dont l'épaisseur n'était pas inférieure à 1^{mm},32. Il importe, pour ce qui va suivre, de montrer que la loi est exacte, dans les limites indiquées, jusqu'à des épaisseurs de 11 à 12 millimètres d'une part, 0^{mm},5 de l'autre : on ne peut guère aller plus loin, les lames plus minces se prêtant mal à des observations un peu précises.

Voici en effet un tableau d'expériences faites avec six lames d'acier de 14 centimètres de longueur sur 3 centimètres de largeur, et deux beaucoup plus grandes, tableau qui peut faire suite à celui qui se trouve dans mon précédent mémoire et que je vais reproduire, en distinguant par des accents les lames récemment étudiées (tableau I).

(*) *La lumière électrique*, t. XII, p. 81, 19 avril 1884. — *Journal de physique*, 1884, 2^e série, t. III. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCVIII, p. 603 et 911.

TABLEAU I.

NUMÉROS.	NATURE du métal.	LON- GUEUR.	LAR- GEUR.	ÉPAIS- SEUR.	NOMBRE DE VIBRATIONS		DIFFÉ- RENCES	ERREURS relatives.
					observé.	calculé.		
		millim.	millim.	millim.				
1	Fer. . . .	315,0	51,2	1,320	69,93	70,78	-0,85	-0,010
2	Acier. . .	149,0	20,0	1,500	368,25	359,45	+8,80	+0,020
3	Fer. . . .	299,0	80,0	4,130	240,20	245,77	-5,57	-0,020
4	Acier. . .	153,5	32,0	1,750	391,20	395,13	-3,93	-0,010
4'	— . . .	140,0	30,0	1,030	280,00	279,60	+0,40	+0,003
2'	— . . .	—	—	1,040	288,00	282,20	+5,80	+0,020
3'	— . . .	—	—	0,740	198,00	200,90	-2,90	-0,015
4'	— . . .	—	—	0,758	202,00	205,60	-3,60	-0,015
5'	— . . .	—	—	0,511	134,78	138,70	-3,90	-0,028
6'	— . . .	—	—	0,512	137,78	138,97	-1,19	-0,010
7'	— . . .	678,0	109,0	11,550	133,28	133,67	-0,39	-0,003
8'	— . . .	678,0	10,5	11,550	133,15	133,67	-0,52	-0,004

Je me suis proposé d'étudier de la même manière les lames circulaires.

La théorie mathématique des vibrations de ces lames, établie successivement par Sophie Germain, Poisson, Wertheim et M. Kirchhoff, comporte plusieurs genres de vérifications expérimentales. Nous allons examiner d'abord celle qui est relative aux nombres de vibrations.

La formule relative au nombre n de vibrations complètes par seconde, d'un disque d'épaisseur e et de diamètre d , est identique à celle des lames rectangulaires :

$$(2) \quad n = K_0 \frac{e}{d^2},$$

K_0 représentant un coefficient fonction du coefficient d'élasticité et de la densité du disque, et de plus, d'une certaine quantité au sujet de laquelle on est forcé de

faire une hypothèse lorsqu'on veut calculer n en valeur absolue. Nous reviendrons sur ce point, et, tout d'abord, nous ne considérerons que des rapports de nombres pour lesquels K_c pourra être considéré comme constant et sera par suite éliminé.

Strehlke (*) et Wertheim (**), ont fait quelques vérifications partielles de la formule (2), mais à un point de vue spécial. Wertheim, en particulier, ne détermine les rapports des nombres de vibrations de disques de fer, laiton et verre que pour vérifier l'hypothèse dont il vient d'être question; mais la *forme* même de la formule (2) n'est pas mise en question.

Je l'ai étudiée sur des disques en fer et en acier.

La mesure des éléments de la formule s'effectue pour le diamètre, avec une grande exactitude. Pour l'épaisseur, on la détermine directement en des points nombreux du disque d'une part, et, d'autre part, on la déduit des dimensions, du poids et de la densité, ce qui permet une vérification.

Quant aux nombres n , je les ai déterminés très exactement en les enregistrant sur le cylindre d'un chronographe. J'ai employé à cet effet un appareil analogue à celui qui m'avait servi pour l'étude des plaques rectangulaires (*fig. 1*). Une plate-forme circulaire en cuivre porte trois glissières G, dirigées suivant les bissectrices d'un triangle équilatéral et dans lesquelles peuvent glisser des tiges en liège t . La plate-forme est portée sur deux pieds A, le long d'une règle en bronze solidement fixée à un pied en fonte P. Le disque d en fer ou en acier est *posé* sur les trois pointes

(*) *Annales de Poggendorf*, 1833.

(**) *Annales de chimie et de physique*, 3^e série, t. XXXII.

en liège *t* formant les sommets d'un triangle équilatéral inscrit dans la circonférence qui constitue la ligne nodale du premier harmonique des plaques circulaires, et dont le rayon est d'environ les 0,68 de celui de la plaque. Un style *s* en platine est fixé sur le bord, en

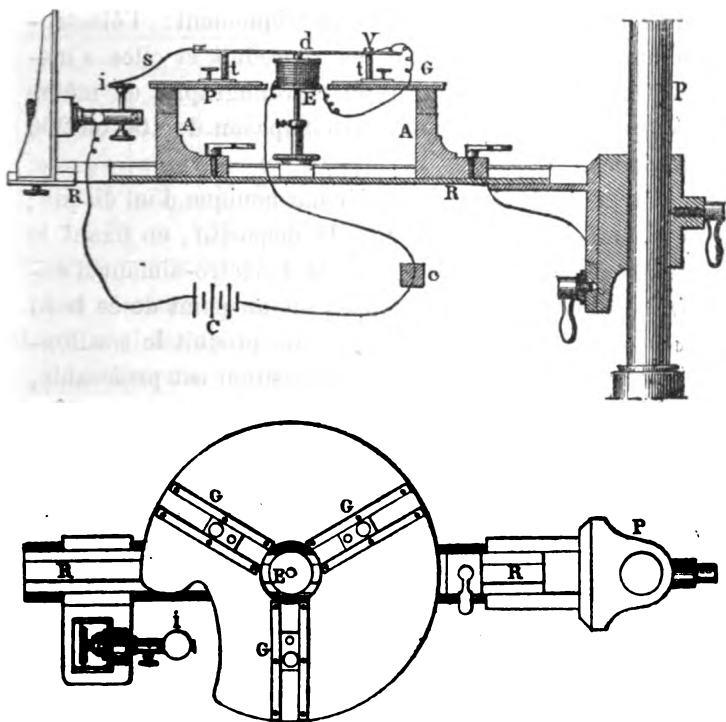


Fig. 1.

face d'une plaque de platine *i* faisant partie d'un circuit qui comprend : une pile *c* ; un petit électro-aimant *e* dont la palette extrêmement mobile est armé d'un style qui effleure la bande de papier enfumé enroulée sur le cylindre du chronographe qui n'est pas figuré ;

un autre électro-aimant E dont le pôle est au-dessous du centre du disque ; et enfin le disque lui-même, par l'intermédiaire d'un fil fin de cuivre qui réunit le bout de l'hélice du dernier électro-aimant à un point V de la nodale circulaire. En mettant en contact le style du disque avec la plaque de platine, les vibrations se produisent et s'entretiennent électriquement ; l'électro-aimant du chronographe les reproduit et elles s'inscrivent sur le cylindre du chronographe en même temps que celles d'un électro-diapason de 100 ou 200 périodes.

On produit ainsi le premier harmonique d'un disque ; mais en modifiant un peu le dispositif, en fixant le centre de la plaque, en plaçant l'électro-aimant d'entretien près du bord, et appuyant un point de ce bord contre un obstacle quelconque, on produit le son fondamental. Mais la première disposition est préférable, parce qu'elle est plus simple, et que le disque, tout en étant très stable, est certainement plus libre dans ses mouvements : elle est d'ailleurs la seule applicable lorsqu'on veut opérer sur des disques de grand diamètre ou de faible épaisseur. En effet, dans les deux cas, il est rare qu'on puisse obtenir un son fondamental unique ; il y en aura généralement deux correspondant aux deux axes d'élasticité produits par le laminage, et dont la différence de hauteur varie d'un comma à une seconde mineure (je reviendrai plus tard sur ce point) : il en résulte, outre la difficulté de l'entretien électrique, une source d'erreurs qu'il faut éviter : l'une et l'autre sont beaucoup moindres pour le premier harmonique.

Cela étant, lorsqu'on cherche à vérifier la loi des diamètres qui résulte de la formule (2), on trouve des

erreurs relatives beaucoup plus considérables que celles qui peuvent provenir des mesures de d et de n et qui ne dépassent certainement pas 1/500.

En voici, entre autres, un exemple pour des disques en fer doux de 0^m,20 de diamètre réduits à 0^m,15.

TABLEAU II.

DISQUES.	ÉPAIS- SEUR.	d	n	$\frac{n'}{n}$	$\frac{d^2}{d'^2}$	DIFFÉ- RENCES.	ERREURS relatives.
Numéro 1.	1 ^m ,5	20 ^m ,10	309,02	»	»	»	»
— 1'.	»	15 ,07	516,02	1,67	1,78	0,11	0,06
— 2.	0 ^m ,95	20 ,10	167,95	»	»	»	»
— 2'.	»	15 ,05	307,00	1,83	1,78	0,05	0,03

Les résultats ne sont pas meilleurs quand on considère la loi des épaisseurs à diamètre égal.

En réduisant l'épaisseur des disques au-dessous de 1 millimètre, les résultats sont plus défectueux encore.

On pouvait espérer de meilleures vérifications avec des disques en acier; mais il n'en est rien. On en jugera nettement d'après les résultats ci-dessous, obtenus sur des disques d'acier fondu aussi homogène que possible, de qualité supérieure, travaillé exprès avec beaucoup de soin, en vue de ces expériences.

Le tableau suivant se rapporte à douze de ces disques de même acier : chaque série de quatre disques de même épaisseur a été découpée dans la même bande d'acier : la densité et le coefficient d'élasticité doivent y être constants : dans ces conditions, d'après la théorie, le rapport des nombres de vibrations doit être le même que celui des épaisseurs ou des poids, à diamètre égal, condition réalisée ici, car tous les disques avaient exactement 10 centimètres de diamètre.

Les épaisseurs ont été mesurées en huit points à 0^{mm},01 près. Les vibrations n'ont pas été enregistrées : les premiers essais avaient montré une telle discordance entre la théorie et l'expérience qu'il a paru très suffisant d'évaluer les sons à l'oreille, par comparaison avec des diapasons très bien étalonnés, car ces évaluations, pour une oreille exercée, ne sont certainement pas erronées d'un comma, c'est-à-dire d'environ 0,01.

TABLEAU III.

NUMÉROS.	ÉPAISSEUR e	POIDS p	RAPPORT des poids $\frac{p'}{p}$	SONS.	RAPPORT des nombres de vibrations $\frac{n'}{n}$	DENSITÉS calculées.	DIFFÉRENCES entre $\frac{n'}{n}$ et $\frac{p'}{p}$	ERREURS relatives.
	mm.	gr.						
1	1,010	64,01	"	$Si\flat_4$ — 1 comma	"	7,91	"	"
2	1,010	64,20	1,003	Id.	1,000	7,93	— 0,003	— 0,003
3	1,013	64,42	1,006	$Si\flat_4$	1,013	7,93	+ 0,007	+ 0,007
4	1,025	65,11	1,017	$La\sharp_4$	1,025	7,93	+ 0,008	+ 0,008
5	0,694	43,81	"	Fa_4	"	7,88	"	"
6	0,693	43,95	1,003	$Fa\sharp_4$	1,068	7,92	+ 0,065	0,070
7	0,698	44,03	1,005	Re_4 + 1 comma	0,854	7,87	— 0,151	0,160
8	0,707	44,82	1,023	Mi_4 + 1 comma	0,962	7,91	— 0,061	0,060
9	0,503	32,03	"	Re_4	"	7,96	"	"
10	0,507	32,37	1,009	$Re\sharp_4$	1,068	7,97	+ 0,059	0,057
11	0,509	32,72	1,020	Re_4 — 1 comma	0,988	8,02	— 0,032	0,930
12	0,519	33,07	1,031	$Si\flat_4$	0,790	7,95	— 0,241	0,260

On voit nettement dans ce tableau que si la première série de disques de 1 millimètre d'épaisseur donne des résultats satisfaisants, il n'en est pas de même pour les deux autres séries comprenant des disques de 0^{mm},7 et 0^{mm},5 d'épaisseur.

Ainsi, dans la deuxième série, le son du disque n°6 devrait à peine différer de celui de la plaque 5 et il lui est supérieur d'une seconde mineure; les sons des dis-

ques 7 et 8 devraient être plus aigus que celui du disque 5, tandis qu'ils sont plus graves, l'un d'une tierce majeure, l'autre d'une seconde mineure.

Mêmes discordances dans la 3^e série : les sons des disques 11 et 12 devraient être plus aigus que le son 9, et, en particulier, le son 12, qui devrait être plus aigu d'environ une seconde mineure, est plus grave de plus d'une tierce majeure, ce qui constitue un écart d'une quarte qui dépasse toute prévision.

En présence de ces résultats, on est naturellement conduit à les attribuer à l'hétérogénéité de la matière des disques et à en essayer de plus épais.

A cet effet j'ai fait découper dans une même bande d'acier fondu, et côte à côte, 7 disques de même diamètre, 10 centimètres, et dont les épaisseurs ont été réduites par le rabotage à 10, 9, 8, 6, 5, 4 et 3 millimètres.

Les poids et les épaisseurs de ces disques ont été déterminés avec une grande exactitude, sans difficultés.

Quant au nombre des vibrations, on a évalué celui du son fondamental ; mais il est trop grand pour pouvoir être enregistré électriquement sans de grandes difficultés. Les sons des disques ont été comparés à ceux de 3 diapasons faisant partie d'une série étalonnée avec le plus grand soin par M. Kœnig et donnant l'*ut*₄, le *sol*₄ et l'*ut*₇. L'évaluation du nombre des vibrations a été faite d'après les battements et les sons résultants : chacun de ces nombres est la moyenne de 2 ou 3 mesures concordantes effectuées en comparant les sons des disques avec deux des trois diapasons étalons.

La densité, *mesurée* sur deux de ces disques, est

égale à 7,82 ; la moyenne de celles qui ont été calculées est 7,79 (tableau IV).

TABLEAU IV.

NUMÉROS.	POIDS p	$\frac{p'}{p}$	e	n	$\frac{e'}{e}$	$\frac{n'}{n}$	DIFFÉ- RENCES	ERREURS relatives.	DENSITÉ calculée.
	gr.		mm.						
1	186,55	"	3,050	1,598	"	"	"	"	7,787
2	242,42	1,300	3,970	2,051	1,300	1,280	-0,020	0,015	7,775
3	306,23	1,640	5,010	2,628	1,640	1,640	-0,000	0,000	7,782
4	367,12	1,970	6,020	3,132	1,970	1,960	-0,010	0,005	7,765
5	489,03	2,620	7,985	4,137	2,620	2,580	-0,029	0,010	7,799
6	554,04	2,970	9,046	4,689	2,970	2,934	-0,036	0,010	7,798
7	613,03	3,286	10,000	5,228	3,278	3,271	-0,007	0,002	7,805

En rapprochant ce tableau du précédent, il est impossible de n'en pas conclure que la discordance entre les résultats de la théorie et de l'expérience est d'autant plus grande que les disques sont plus minces à partir d'une certaine épaisseur qu'on peut fixer de 1 à 2 millimètres. Au-dessus de cette limite, la loi des épaisseurs se vérifie à 1 p. 100 près, ce qui, vu la difficulté des mesures des nombres n , peut être considéré comme satisfaisant.

Il est nécessaire de chercher à se rendre compte de ce résultat.

Parmi les hypothèses diverses sur lesquelles s'appuie la théorie des lames circulaires, il en est une qui n'est certainement pas remplie pour l'acier : c'est celle d'une homogénéité parfaite dans toute l'étendue de la lame. Il y a, en effet, dans toute masse d'acier, des soufflures et des agglomérations de matières, de composition chimique et de dimensions différentes, réparties dans la masse sans aucune régularité. On s'en

aperçoit nettement quand on attaque une lame d'acier lentement par un acide, ou quand on l'examine au microscope dans des conditions convenables. Il en résulte pour une lame circulaire que, bien que la densité reste sensiblement constante, l'élasticité peut varier notablement dans la direction de certains rayons, par suite de la dissymétrie moléculaire à la fois physique et chimique.

Il faut ajouter à cela que le laminage produit toujours deux axes d'élasticité, ce qui augmente encore la dissymétrie par rapport aux rayons.

Cette hétérogénéité intérieure peut être mise en évidence dans les disques minces, sans les altérer en rien, par des expériences qualitatives très simples. Il suffit de les poser sur des tiges de liège formant les sommets d'un triangle équilatéral inscrit dans la nodale circulaire relative au premier harmonique, et d'essayer de produire cette nodale avec du sable, en frappant le disque au centre avec un petit marteau de liège.

A une homogénéité complète autour du centre doit correspondre une nodale parfaitement circulaire; or, c'est un cas qui se présente assez rarement dans les disques d'une épaisseur inférieure à 1 millimètre. On obtient (fig. 2) soit des cercles plus ou moins déformés, soit des ellipses (*a*) dont un axe a le plus souvent la direction des stries légères produites par le laminage, déformation que tous les observateurs, Chladni, Strehlke, Wertheim, ont signalée dans des circonstances analogues; soit des ellipses déformées en ovoïdes (*b*); soit des triangles curvilignes (*c*) présentant une grande netteté quand leurs sommets coïncident sensiblement avec les trois points d'appui; soit

des sortes d'hexagones (*d*) dont les sommets seuls sont bien marqués par des amas de sable dans certains azimuts; soit enfin aucune forme nette de nodale.

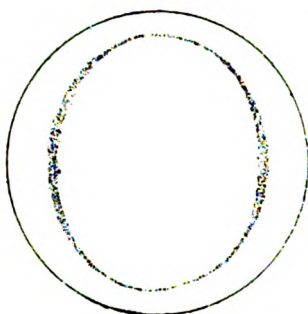


Fig. 2(a).



Fig. 2(b).

Dans les plaques découpées côte à côte dans la même lame d'acier, toutes choses égales d'ailleurs, ces déformations de la nodale circulaire sont souvent dif-

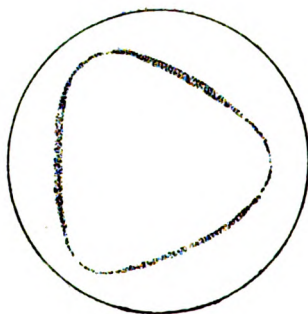


Fig. 2(c)



Fig. 2(d).

férentes. Il en est de même quand on produit avec l'archet, par exemple, en appuyant les disques sur les doigts, les nodales complexes qui correspondent à des harmoniques de plus en plus élevés; elles présentent quelquefois des différences caractéristiques et très no-

tables, car certains axes de symétrie qui existent dans les unes manquent dans les autres. C'est ce qu'on voit par exemple dans les figures 3 et 3 bis, renfermant les

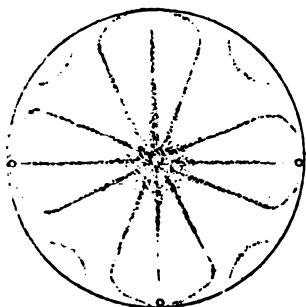


Fig. 3.

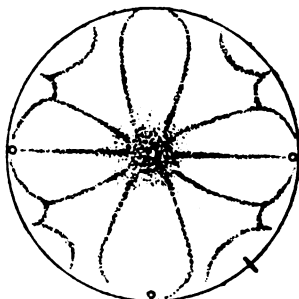


Fig. 3 bis.

figures nodales du même harmonique aigu de deux disques de même épaisseur, découpées dans la même bande d'acier.

D'autre part, à ces indices certains d'hétérogénéité moléculaire visibles à l'œil, correspondent, comme on l'a dit plus haut, pour le son fondamental des indices sensibles à l'oreille. Lorsque les déformations de la nodale circulaire s'accroissent, on entend deux sons simultanés qui peuvent différer de 1 à 2 commas, autres que les harmoniques, dont l'intensité relative est variable quand on fait tourner les plaques sur elles-mêmes dans leur plan, et qui produisent des battements.

La trempe ne paraît pas jouer un rôle notable dans ces phénomènes, car ils se produisent dans des lames de fer doux et des lames de fer-blanc, et d'ailleurs voici des expériences faites sur quatre disques d'acier de même diamètre, 0^m,15, découpés, deux à deux, dans une même plaque d'acier, et recuits après le découpage (tableau V).

TABLEAU V.

NUMÉROS.	e	n	$\frac{e'}{e}$	$\frac{n'}{n}$	DIF- FÉRENCES.	ERREURS relatives.
	millim.					
1	1,03	394	"	"	"	"
2	1,04	360	1,010	0,914	-0,096	0,10
3	0,740	324	"	"	"	"
4	0,758	404	1,024	1,248	+0,224	0,20

On retrouve là des discordances comparables à celles déjà signalées. En outre, les lames n° 1 et 2 ont une nodale elliptique, le n° 3 n'a pas de nodale de forme déterminée, et le n° 4 a pour nodale un cercle un peu déformé. Deux autres disques de même provenance donnent des différences de 4 à 5 p. 100, et ont des nodales circulaire déformée pour l'une, et triangulaire curviligne, à angles très ouverts, pour l'autre.

Les causes indiquées plus haut de l'hétérogénéité qui se manifeste ainsi très simplement dans les disques minces existent toujours dans les disques épais; mais on comprend que leur influence soit de moins en moins sensible au fur et à mesure que l'épaisseur augmente, d'autant plus que la difficulté de produire la division des plaques en segments caractéristiques des harmoniques augmente en même temps. On conçoit que les différences entre la théorie et l'expérience ne commencent à se manifester nettement que lorsque l'épaisseur des plaques est d'un ordre de grandeur comparable aux dimensions des groupes de molécules qui diffèrent au point de vue physique et chimique, et produisent la dissymétrie par rapport aux rayons.

Cette explication est confirmée par ce fait remarquable que, dans un corps élastique où la symétrie n'est

nécessaire que dans une ou deux directions, comme les lames rectangulaires allongées, la discordance signalée plus haut dans les disques minces n'existe plus, ou tout au moins reste comparable aux erreurs inévitables de l'expérience.

En effet, le premier tableau inscrit au commencement de ce mémoire montre que les lois théoriques des vibrations de ces lames rectangulaires s'appliquent, avec des écarts de 1 à 2 p. 100 au plus, à des épaisseurs variant de 1 à 23, de $0^{\text{mm}},5$ à $11^{\text{mm}},5$.

En second lieu, j'ai fait découper dans les disques 1, 2, 3, 4, ci-dessus, quatre plaques rectangulaires 1', 2', 3', 4' de 140 millimètres de longueur, sur 30 millimètres de largeur; j'ai déterminé leurs nombres de vibrations. Le tableau VI montre les résultats comparatifs des expériences.

TABLEAU VI.

NUMÉROS.	e	n	$\frac{e'}{e}$	$\frac{n'}{n}$	DIFFÉRENCES.	ERREURS relatives.
DISQUES.						
1	1,03	394	"	"	"	"
2	1,04	360	1,010	0,914	-0,096	-0,10
3	0,740	324	"	"	"	"
4	0,758	404	1,024	1,248	+0,224	+0,20
LAMES rectangulaires.						
1'	1,03	280	"	"	"	"
2'	1,04	288	1,010	1,028	+0,018	+0,018
3'	0,740	198	"	"	"	"
4'	0,758	202	1,024	1,020	-0,004	-0,004

On retrouve ainsi entre les rapports $\frac{n'}{n}$ et $\frac{e'}{e}$, dans des disques de 15 centimètres de diamètre et de 1 millimètre et $0^{\text{mm}},75$ d'épaisseur, les différences de 10 à 20 p. 100, déjà trouvées pour des disques de 10 centi-

mètres de diamètre et de 0^{mm},70 et 0^{mm},50 d'épaisseur; l'augmentation du diamètre augmente le désaccord et le manifeste jusque dans les disques de 1 millimètre d'épaisseur. Au contraire, on voit que dans les lames rectangulaires découpées dans les disques, le désaccord diminue jusqu'à 0,18 et 0,004.

Il me semble qu'on peut juger ainsi du degré de probabilité des explications que je viens de donner.

Les conclusions qu'on peut tirer de ces résultats sont d'abord : que la théorie mathématique des lames circulaires vibrantes n'est pas ébranlée, puisque les divergences manifestées entre ces résultats et ceux de l'expérience se trouvent expliquées par des circonstances qui paraissent difficilement accessibles au calcul. En tout cas, on voit que plus l'épaisseur augmente, plus l'accord est grand entre la théorie et l'expérience : par suite, quand il s'agira de faire des vérifications nouvelles de la théorie, il faudra expérimenter sur des disques de faible rayon et d'assez grande épaisseur.

En second lieu, au point de vue pratique, on voit qu'il n'est pas possible de construire, autrement que par tâtonnements des disques de fer ou d'acier, d'épaisseur inférieure à 1 millimètre (quand le diamètre est d'environ 100 millimètres), donnant un son calculé d'avance d'après leurs dimensions.

Je ne pousserai pas plus loin cette étude des disques au point de vue élastique; ce qui précède suffit pour l'objet que j'ai en vue; je passe à l'étude de ces disques à un autre point de vue.

(A suivre.)

E. MERCADIER.

CHRONIQUE.

Sur les nouvelles expériences exécutées en 1885 au moyen du ballon dirigeable « la France ».

Par M. CH. RENARD.

M. Ch. Renard a lu à l'Académie des sciences, le 23 novembre dernier, un mémoire sur les expériences qu'il a exécutées au moyen du ballon dirigeable « *la France* », les 25 août, 22 et 23 septembre 1885. Nous en extrayons la partie relative à l'emploi de l'électricité comme source de force motrice :

« Nous avons fait connaître, l'année dernière, les résultats obtenus au moyen du ballon dirigeable construit aux ateliers militaires de Chalais (*).

« On exécuta, en 1884, quatre ascensions : une le 9 août, une le 12 septembre, qui ne réussit pas à cause d'une avarie de machine, et deux le 8 novembre qui réussirent parfaitement. Trois fois sur quatre, l'aérostat est revenu à son point de départ.

« Le ballon ne pouvant emporter, en 1884, que deux aéronautes, il avait été impossible d'exécuter des mesures précises de la vitesse propre du ballon. Il s'agissait, cette année, de combler cette lacune; aussi le ballon dut-il être modifié dans certaines parties.

« Il fallut d'abord l'alléger et gagner le poids d'un aéronaute : j'y réussis facilement en modifiant certains organes (ventilateurs, piles, accumulateurs, voile de queue).

« La machine motrice multipolaire employée l'année der-

(*) *Note sur un aérostat dirigeable*, par MM. Ch. Renard et A. Krebs, 18 août et 10 novembre 1884.

nière ayant donné lieu à divers accidents, je la remplaçai par un moteur à deux pôles dont la construction fut confiée à M. Gramme. Notre éminent ingénieur électricien nous livra un appareil excellent, très robuste, admirablement équilibré et d'un poids sensiblement égal à celui du premier.

« La transmission du mouvement dut aussi être modifiée. Pour éviter les dégrènements et les ruptures de dents dus aux déformations inévitables de la nacelle, je suspendis tout le train des roues dentées à l'arbre même de l'hélice, le pignon n'étant relié à la machine motrice que par l'intermédiaire d'un manchon à calage élastique permettant au train de se déplacer notablement sans que la transmission cesse de se produire.

« Enfin, des précautions minutieuses furent prises pour assurer le graissage continu et le refroidissement des coussinets du pignon, dont la vitesse pouvait être portée, à un moment donné, à 3.600 tours par minute.

« Tout cet ensemble fut essayé à outrance, dans le hangar de Chalais. Ces essais nous donnèrent une entière confiance dans le nouveau dispositif.

« A la vitesse de 3.600 tours, qui put être soutenue indéfiniment, la force motrice développée sur l'arbre put être portée à 9 chevaux,

« La poussée de l'hélice fut mesurée; on trouva qu'elle était reliée à l'intensité du courant par la formule

$$H = 0,753 C - 17,3,$$

(H poussée de l'hélice en kilogrammes, C courant en ampères). Cette formule se vérifie très exactement pour des valeurs de C variant de 0 à 108 ampères. On peut démontrer qu'elle s'applique sensiblement au cas où le ballon, au lieu d'être immobile, obéit librement à l'effort de l'hélice.

« Enfin je m'attachai à améliorer la pile et je réussis encore à l'alléger en modifiant légèrement la composition du liquide des éléments.

« J'arrive au procédé, très simple, destiné à mesurer la vitesse du ballon par rapport à l'air ambiant. Comme l'hélice est à l'avant du ballon, on ne peut employer un anémomètre, car il donnerait des indications trop fortes; en revanche, rien

ne gêne pour l'emploi d'un loch aérien. Ce loch fut organisé de la façon suivante : un ballon en baudruche de 120 litres fut rempli en partie de gaz, de façon à rester exactement en équilibre dans l'air. Ce ballon fut attaché à l'extrémité centrale du fil d'une bobine de soie de 100 mètres de longueur. Pour faire une mesure, l'opérateur enroule autour de son doigt l'autre extrémité du fil, lâche le ballon qui s'éloigne horizontalement vers l'arrière, et qui, arrivé au bout de sa course, produit sur le doigt un choc sensible. L'instant du départ et celui du choc final sont pointés sur un chronomètre. On mesura avec soin la dérivation de ce loch ; elle fut trouvée égale à 0^m,117 par seconde. Dès lors, la vitesse v du ballon était reliée à la durée t du déroulement par la formule

$$v = \frac{100}{t} + 0,117 \text{ (} v \text{ est exprimé en mètres et } t \text{ en secondes).}$$

« Les choses étant ainsi préparées, on profita du premier beau jour pour essayer le nouveau mécanisme en l'air. »

Sur des appareils télémicrophoniques,

Par M. E. MERCADIER.

J'appelle *télémicrophones* des appareils mixtes, produisant *simultanément* les effets des microphones et des téléphones, et réversibles comme ces derniers. Leur construction, au point de vue de la transmission, repose sur les faits suivants :

I. On peut agir sur un téléphone ou un microphone par l'intermédiaire d'une lame mince *rigide* quelconque et d'une couche d'air, limitée ou non.

II. On peut, sans faire perdre à un diaphragme magnétique ses propriétés téléphoniques, le charger de poids, jusqu'à une certaine limite qui peut même dépasser le poids du diaphragme.

Ces deux propriétés ont été indiquées dans la théorie que j'ai donnée du téléphone (voir *Comptes rendus*, t. CI, p. 744 et 1004).

III. Les effets d'un microphone placé dans le circuit primaire d'une bobine d'induction et d'un téléphone placé dans le circuit secondaire se superposent quand on agit *simultanément* sur les deux appareils, soit qu'on les superpose eux-mêmes, soit qu'on les juxtapose, soit qu'on les combine intimement, le microphone étant fixé à la membrane même du téléphone.

Au point de vue de la réception, on s'appuie sur la propriété suivante, que j'ai indiquée à propos d'effets radiophoniques (voir *Comptes rendus*, t. CI, p. 944), propriété déjà appliquée, mais incomplètement.

IV. Quand la membrane d'un téléphone quelconque sépare deux chambres à air, l'une extérieure, l'autre intérieure à l'instrument, on peut recevoir nettement et fortement les mouvements de la membrane transmis à l'air, à l'aide d'un ou plusieurs tubes acoustiques adaptés latéralement à ces chambres, pourvu qu'on donne à celles-ci des dimensions convenables.

D'après ces données, j'ai fait construire deux types de télé-microphones qui donnent de bons résultats : l'un dans lequel les organes téléphonique et microphonique sont *superposés*; l'autre où ils sont *combinés*.

On obtient facilement un appareil de ce dernier type, à l'aide d'un téléphone d'Arsonval à la membrane duquel sont solidement fixés les charbons entourés d'un cylindre mince en fer d'un microphone du système d'Arsonval et P. Bert. Ces charbons sont à l'intérieur de l'appareil : un petit aimant auxiliaire règle la pression des charbons sur leur support.

La membrane est surmontée d'un couvercle formant chambre à air de 0^m,01 de hauteur au plus, percé d'une ouverture centrale recouverte d'une lame mince rigide quelconque (verre, mica, bois,...) (I) sur laquelle on parle, et deux ouvertures latérales auxquelles on peut ajuster des tuyaux en caoutchouc.

Les communications électriques sont les mêmes que dans un microphone ordinaire : les charbons sont reliés au circuit primaire d'une bobine d'induction comprenant la pile : les bouts de l'hélice du téléphone sont reliés au circuit extérieur comprenant le fil secondaire de la bobine.

En ce qui concerne la *transmission*, quand on parle sur l'appareil, la membrane en fer vibre et produit *simultanément* les deux effets principaux suivants : 1° un effet *microphonique* dans le circuit primaire de la bobine, par suite des mouvements des charbons fixés à la membrane, d'où résultent dans le circuit extérieur les courants induits ordinaires ; 2° un effet *téléphonique* par suite des mouvements de la membrane dans le champ magnétique de l'aimant, d'où résultent dans le même circuit extérieur d'autres courants induits qui se superposent aux précédents (III).

Bien que le poids des charbons soit supérieur à celui du diaphragme et irrégulièrement réparti sur la surface, l'appareil fonctionne très bien comme téléphone quand on supprime l'effet microphonique, par exemple en ouvrant le circuit de la pile (II) : si donc cette suppression se produit accidentellement, la transmission pourrait continuer sans difficulté.

Quant à la *réception*, l'appareil est réversible, puisqu'il renferme tous les éléments d'un téléphone : pour s'en servir comme récepteur, il suffit de le porter à l'oreille. Si on veut le laisser sur un support fixe, on se sert de tuyaux acoustiques adaptés soit au couvercle, soit à la chambre formée par la partie intérieure de l'instrument ; mais il faut avoir soin de donner à celles-ci, comme il est dit plus haut (IV), des dimensions convenables pour éviter des effets de résonance qui donnent une sorte de *flou* à la parole articulée.

En déterminant bien ces dimensions, on peut, sans affaiblir notablement les effets, adapter plusieurs tuyaux acoustiques ou *écouteurs* de faible diamètre (0^m,01 environ) à chacune des chambres à air de l'appareil, ce qui permet à plusieurs personnes de recevoir à la fois les sons ou les paroles transmis : on obtient ainsi ce qu'on peut appeler un *télémicrophone à écouteurs multiples*.

On voit d'ailleurs que ce dispositif est applicable à des téléphones ordinaires. J'ai construit ainsi en effet des téléphones à deux, quatre et jusqu'à huit écouteurs latéraux donnant des résultats susceptibles d'applications intéressantes.

Les principaux avantages des télémicrophones sur les mi-

crophones ordinaires sont : la possibilité d'un double mode de transmission avec le même appareil ; la réversibilité du transmetteur, qui simplifie beaucoup la réception ; la réduction du nombre des organes des postes microphoniques, et, par suite, la diminution de la résistance totale des appareils d'une même ligne : cette réduction permet d'ailleurs de simplifier la construction des appareils et d'en diminuer notablement le volume.

(*Comptes rendus.*)

Conductibilité électrique des résines.

Les résines ne présentent aucune particularité aux environs du point de fusion (*). Elles isolent toutes à une température suffisamment inférieure à celui-ci et deviennent conductrices au-dessus ou à partir du ramollissement ; la conductibilité croît toujours régulièrement avec la température. Plus sont acides et oxydés les éléments fusibles que les résines contiennent, mieux elles conduisent et *vice versa*. Les substances suivantes sont bonnes conductrices à partir du point de fusion ou de ramollissement : storax, jalap, scammonée, sandragon, ambre, baumes du Pérou, de tolu, de copahu, gomme laque, benjoin, gayac, gomme tacamahaca, assa foetida, gomme ammoniacque, laudanum, aloès, térébenthine de Bordeaux, oliban, myrrhe, térébenthine de Venise.

Conducteurs médiocres dans les mêmes conditions : résine de copahu, térébenthine de Chio, poix noire ordinaire, colophane, asphalte, gomme d'euphorbe.

Mauvais conducteurs même au-dessus des points de ramollissement ou de fusion : baume de Canada, élémi, copal, mastic, gomme damar, sandaraque.

(*Beiblätter*, 1885, t. IX, p. 683.)

(*) M. Bartoli a montré que pour certains composés organiques une diminution brusque et très marquée de conductibilité se produit au moment de la solidification ; c'est l'inverse de ce qui se passe avec le mercure (*Annales télégraphiques*, 1883, p. 163.)

BIBLIOGRAPHIE.

Traité élémentaire des mesures absolues, mécaniques, électrostatiques et électromagnétiques, par M. Sierpieri; traduit de l'italien par M. Paul Marcillac (Paris, Gauthier-Villars, éditeur).

M. Marcillac vient de faire paraître une traduction du *Traité élémentaire des mesures électriques*, de M. le professeur Sierpieri, de Florence, décédé récemment.

Ce livre, en dehors des principes généraux qui ont conduit le congrès de Paris à l'adoption du système des unités électriques absolues, contient un grand nombre de données expérimentales intéressantes, d'applications et de problèmes pratiques destinés à habituer les lecteurs à l'usage des unités C.G.S. Il sera d'une grande utilité pour tous ceux qui ont à s'occuper des applications mécaniques et électriques. Nous reprocherons seulement au livre de M. Sierpieri de donner des définitions un peu trop sommaires et abstraites des unités, pour un traité élémentaire.

A la page 48 de la traduction, M. Sierpieri dit que *pour se procurer un étalon pratique de l'ampère, il faudrait avoir des étalons de volt et de l'ohm*. Il ajoute que, à l'égard de l'ampère légal, *nous sommes dans des conditions identiques à celles où nous nous trouvions à l'égard de l'ohm en 1882*. C'est une erreur. L'ampère est parfaitement défini comme unité absolue. C'est même la seule des trois unités électriques principales qui ait une définition précise fondée sur le système absolu, car le volt et l'ohm ne représentent les unités absolues qu'avec une certaine approximation. L'intensité d'un courant est donnée directement par la boussole des tangentes lorsqu'on connaît l'intensité du magnétisme terrestre. Sans doute, il peut être

commode dans la pratique de substituer des voltamètres aux boussoles des tangentes; aussi s'est-on préoccupé de déterminer l'équivalent électrique de l'argent. Lord Rayleigh, MM. Mascart et Kolrausch ont trouvé, pour le poids d'argent réduit pendant une seconde par un courant d'un ampère, des chiffres qui diffèrent seulement de $1/500$ et dont la moyenne est 1.1173 centigrammes.

L'électrochimie et l'électrometallurgie, par M. Ponthière, ingénieur, professeur d'électricité appliquée et de métallurgie à l'Université de Louvain. (Paris, Gauthiers-Villars.)

Le livre que M. Ponthière vient de faire paraître fait suite à celui qu'il a publié l'an dernier sous le titre : *Applications industrielles de l'électricité, Principes et électrométrie*. C'est un traité complet de l'électrolyse et de ses applications industrielles.

Depuis longtemps le courant électrique est appliqué à la dorure, à l'argenture et au cuivrage des métaux communs ou des corps non métalliques, ainsi qu'aux reproductions des œuvres d'art par la galvanoplastie et l'électrotypie; mais son application à la métallurgie, bien qu'étudiée par MM. Becquérél, est, au moins dans la pratique, de date relativement assez récente. Elle prend tous les jours une extension nouvelle, surtout depuis la substitution des machines électromagnétiques aux piles employées dans le principe.

M. Ponthière a réuni dans son livre, qui sera lu avec le plus grand intérêt, tous les renseignements théoriques et pratiques qui se rapportent à l'électrochimie. Nous nous bornons, pour le moment, à indiquer sommairement les principaux points traités dans cet ouvrage.

La première partie comprend une étude détaillée et très complète des lois générales de l'électrolyse, des conditions économiques d'une installation électrochimique et du travail consommé pendant l'action électrolytique.

La seconde partie est spécialement consacrée à la galvano-

plastie et à l'électrotypie, nickelage, argenture, dorure, dépôts de zinc, de fer, d'antimoine, etc., etc.

Dans la troisième partie, la plus nouvelle et la plus intéressante, M. Ponthière s'occupe spécialement de l'électrometallurgie et de son rendement économique; affinage de métaux, traitement des minerais, exploitation des mattes cuivreuses par le procédé Marchèse, description du creuset électrique de M. Siemens, pour la fusion du fer et de l'acier par le courant électrique.

Enfin, on trouve dans la quatrième partie la description des applications de l'électrochimie, au blanchiment des tissus (système Hermite), à la désinfection des alcools de mauvais goût, à la préparation des alcalis caustiques, enfin à la production et à la fixation des matières colorantes.

Télégraphe imprimeur de M. Baudot. (Société générale d'exploitation d'appareils télégraphiques, 2, rue Blanche, Paris.)

Le premier appareil multiple imprimeur de M. Baudot, qui a figuré à l'Exposition universelle de Paris de 1878, et a fonctionné pendant plusieurs mois sur la ligne de Bordeaux, utilisait de nombreux courants électriques qui en rendaient l'entretien difficile et le réglage délicat. Le modèle qui a été présenté, en 1881, à l'Exposition d'électricité différait essentiellement du premier: il a cédé à son tour la place à un type nouveau qui paraît réaliser tous les avantages que peut donner le système.

C'est cet appareil qui vient d'être décrit dans une brochure que la Société générale d'exploitation d'appareils télégraphiques vient de faire paraître.

Après un exposé très clair des opérations que comporte le fonctionnement de l'appareil, l'auteur de la notice en décrit successivement les diverses parties: le manipulateur, le distributeur, le relais, le traducteur, puis donne l'ensemble des communications électriques et de l'installation générale, tant

pour la transmission multiple que pour la transmission simple et la transmission en duplex.

Les chiffres donnés pour le rendement de l'appareil sont les suivants :

1 Baudot à transmission simple.	1.500 mots à l'heure.	
— duplex.	3.000	—
— triple.	4.500	—
— quadruple.	6.000	—
— sextuple.	9.000	—

L'électricité à l'Exposition universelle d'Anvers,
Par M. MOURLON à Bruxelles).

M. Mourlon a réuni en un volume les divers articles qu'il avait fait paraître en livraison, du 15 juillet au 15 décembre de l'année dernière, sur le rôle de l'électricité à l'Exposition internationale d'Anvers.

Ce livre, qui renferme un grand nombre de figures, contient des détails intéressants sur toutes les applications si diverses et si nombreuses de l'électricité : machines magnéto-électriques, appareils d'éclairage électrique, électro-metallurgie, instruments de mesure, téléphonie et microphonie avec l'exposition complète du système de M. von Rysselberghe, accumulateurs de M. Plauté, appareils de sécurité des chemins de fer, etc., etc.

Situation des réseaux téléphoniques (Paris, impr. Schiller).

La rédaction du *Bulletin international de l'électricité* vient de publier une statistique internationale des réseaux téléphoniques, à la date du 10 janvier 1886, dont nous extrayons les chiffres suivants :

Le nombre actuel des réseaux téléphoniques en Europe est de 320, qui se divisent ainsi :

Allemagne.	91	desservant	14.733	abonnés.
Autriche.	11	—	3.032	—
Belgique.	7	—	3.365	—
Danemark.	2	—	1.370	—
Espagne.	3	—	594	—
France.	20	—	7.175	—
Grande-Bretagne.	89	—	15.114	—
Italie.	16	—	8.346	—
Pays-Bas.	8	—	2.493	—
Portugal.	2	—	350	—
Russie.	20	—	5.280	—
Suède.	15	—	5.505	—
Suisse.	36	—	4.900	—

Nécrologie.

M. JAMIN

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

Un nouveau deuil vient de frapper la science française dans la personne de M. Jamin, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, décédé à Paris, le 11 février dernier, après une longue maladie qui le tenait éloigné depuis plusieurs mois de son laboratoire et de ses occupations scientifiques.

Après des travaux importants sur la capillarité, l'hygrométrie, les chaleurs spécifiques, le point critique des gaz, etc., il s'était particulièrement occupé de magnétisme et d'électricité. Il a donné, notamment aux aimants permanents, une forme rationnelle qui dans un volume donné d'acier réalise le maximum de force magnétique et est actuellement universellement adoptée. Ses lampes électriques, bien que n'ayant pas

eu tout le succès sur lequel il comptait, n'en constituent pas moins un dispositif simple et ingénieux.

Tous les élèves qu'il a formés, comme professeur à l'École polytechnique et à la Faculté des sciences de Paris, dont il avait récemment été nommé doyen, conservent le souvenir de sa bienveillance, de son caractère loyal et de ses éminentes qualités.

Rappelons qu'il a pris une part importante aux décisions du Congrès international des électriciens, où il avait remplacé M. Dumas comme président de la section qui a arrêté définitivement la valeur de l'ohm légal et les diverses unités de mesure électrique.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1886

Mars-Avril

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ AUX CHEMINS DE FER.

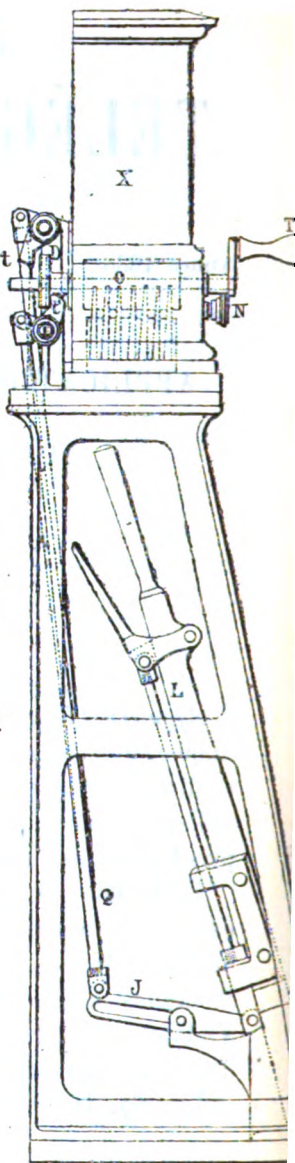
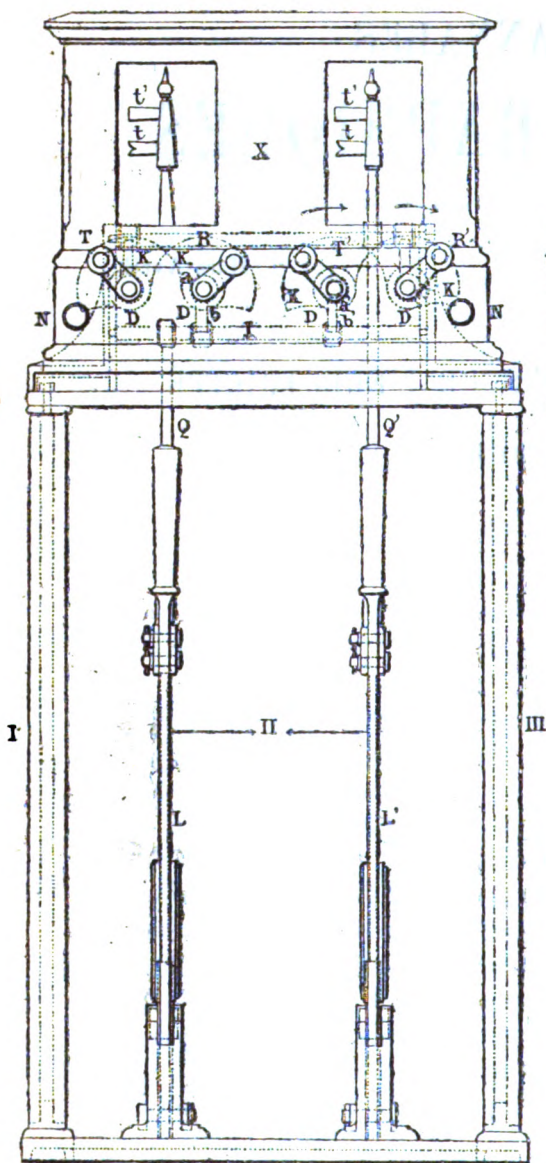
Suite (*).

Appareil Flamache. — L'appareil inventé par M. Flamache, ingénieur des chemins de fer de l'État belge, réalise, au moyen de combinaisons ingénieuses et nouvelles, le même programme que le précédent, y compris l'adjonction d'une pédale.

Le modèle qui était présenté à l'Exposition d'Anvers est destiné à une application sur ligne à voie unique, de Denderleeuw à Sotteghem, sur le chemin de fer de Bruxelles à Dunkerque. Mais il est susceptible de s'adapter aux lignes à double voie, par la suppression d'un simple taquet, comme il sera dit plus loin.

Les *fig.* 16 et 17 représentent les relations méca-

(*) Voir le numéro des *Annales télégraphiques* de novembre-décembre 1885.



niques entre les leviers des signaux L, L' , et les manivelles des commutateurs-transmetteurs T, T' ou récepteurs R, R' , relations établies par le jeu combiné de disques à encoches D fixés sur les axes des manivelles, et de taquets t, t' manœuvrés par les leviers au moyen des tiges Q, Q' .

Les manivelles T et R d'une part, T' et R' de l'autre, se commandent du reste mutuellement, au moyen de secteurs excentriques K susceptibles de s'immobiliser l'un l'autre.

Enfin les dispositions de la boîte électrique représentée *fig. 18* sont telles, qu'en son état normal, le transmetteur T ne peut être manœuvré, si le courant passant dans l'électro-aimant H retient l'armature, dont le butoir K arrête le taquet e ; au contraire le récepteur R est immobilisé par la butée du taquet h dans l'encoche de g , si l'électro-aimant G , cessant d'être parcouru par un courant, lâche son armature.

Quant aux combinaisons de courants électriques, trop compliquées pour être expliquées en détail, elles se font au moyen des commutateurs circulaires O (*fig. 17*) fixés sur les axes des manivelles.

Pour qu'un poste intermédiaire II puisse rabattre le levier L , et ouvrir la voie à un train pénétrant dans la section II - III , il faut :

1° Que l'encoche a soit amenée en face du taquet b , et pour cela, que le poste III ait envoyé dans la bobine G un courant libérant le récepteur R ;

2° Que l'encoche a' se trouve en face du taquet b' ; cette condition, qui entraîne l'immobilisation du transmetteur T' , pendant que le levier L tient le signal à voie libre, n'est appliquée qu'en voie unique, lorsqu'il devient nécessaire que le poste II ne puisse rendre

voie libre au poste III avec T', lorsqu'il envoie un train ;

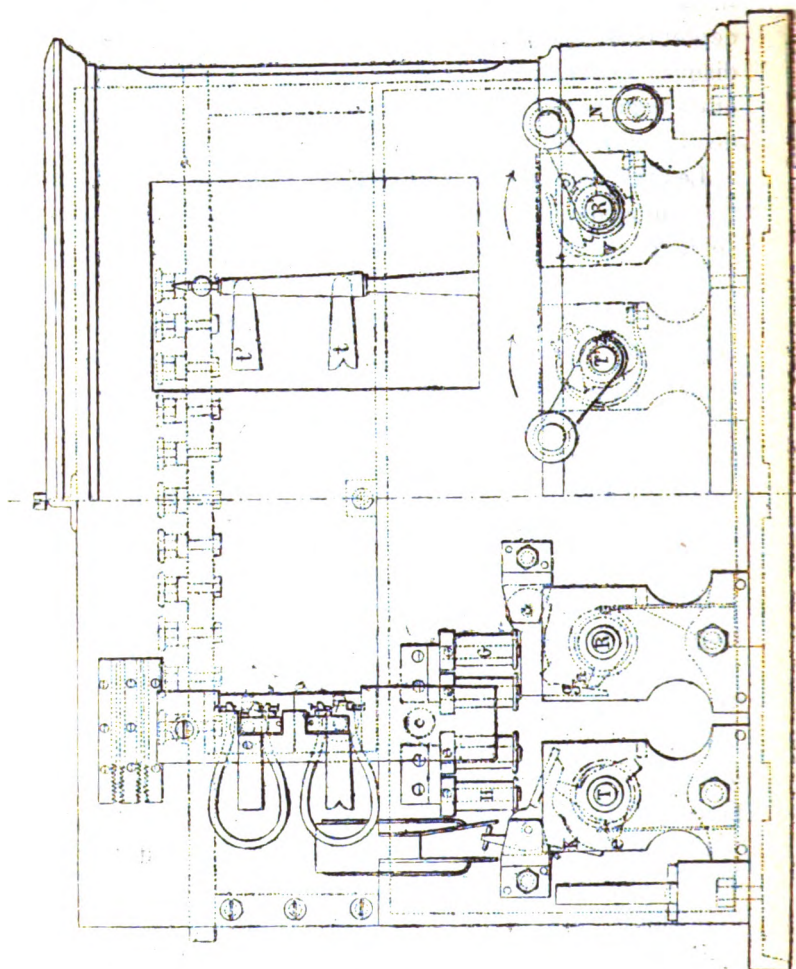


Fig. 18.

le taquet *b'* est supprimé pour le block-system sur double voie.

Du moment que la manivelle R a été amenée vers la

gauche pour satisfaire à la première condition, son secteur immobilise la manivelle du transmetteur T, c'est-à-dire que le poste II ne peut rendre voie libre à I, jusqu'à ce que le signal du levier L ait été remis à l'arrêt derrière le train expédié à III.

Pour que le poste II puisse rendre voie libre au moyen du transmetteur T, il faut :

1° Que le levier L ait remis le signal à l'arrêt, comme il vient d'être dit;

2° Que la manivelle du récepteur R ait été ramenée vers la droite, dans la position de la *fig. 16* ;

3° Que le courant permanent qui parcourt l'électro-aimant H, ait été interrompu pour laisser passer le taquet *e* (*fig. 18*). Ce dernier effet est obtenu au moyen d'une pédale rencontrée par le train expédié vers le poste III.

Une combinaison de courants par les commutateurs O et les boutons poussoirs N placés à droite et à gauche de l'appareil, mettent les petits sémaphores répétiteurs *t, t'* en concordance avec les signaux reçus ou transmis.

Dans le cas de garage d'un train, le poste II, qui gare ce train, le couvre comme à l'ordinaire, le fait avancer jusqu'à la pédale, et une fois le garage opéré, rend voie libre au poste précédent I, puis demande le déclenchement au poste suivant III, d'abord pour le train dépassant, ensuite pour le train dépassé à expédier, et alors la circulation normale se trouve rétablie.

Block-systems automatiques. — Tous les appareils précédents exigent pour leur manœuvre l'intervention d'agents spéciaux; on comprend l'avantage écono-

mique qu'il y aurait à les faire actionner automatiquement par les trains eux-mêmes.

De nombreux essais ont été faits dans ce sens, et particulièrement poursuivis en Amérique.

Mais jusqu'à présent ces tentatives n'ont pas abouti à des résultats sûrs, à cause du peu de sécurité qu'offrent, en principe, le système de remplacer la surveillance d'agents responsables par des mécanismes automatiques et faillibles, et en pratique, le fonctionnement d'organes plus ou moins fragiles mis en mouvement par des trains en marche.

L'organe principal de tout système automatique, est un contact mobile destiné à être actionné au passage des trains, et à agir ensuite par un circuit électrique, soit sur un appareil simplement indicateur, soit sur des signaux de voie manœuvrés électriquement, dont quelques-uns seront ultérieurement décrits.

Comme pièces de contact, on a essayé successivement des pédales rencontrées par toutes les roues du train, ou bien seulement par la première ; des leviers actionnés par la flexion du rail, enfin et en dernier lieu, des espèces de contacts trembleurs mis en mouvement par la simple trépidation de la voie.

Nous ne donnerons même pas la nomenclature de ces dispositifs, qui n'offrent à peu près tous que des conditions de résistance ou de réglage fort imparfaites. Nous excepterons toutefois le contact fixe, système Lartigue, décrit plus loin ; il a été utilisé avec succès à la compagnie du Nord, pour suppléer aux indications des disques, et il fait le fond du block-system automatique Céraldini, qui a été essayé en Italie sans avoir fourni toutefois, semble-t-il, de résultats pratiques.

Par le nombre des appareils de block-system que nous venons de parcourir, on voit que les inventeurs se sont ingénies à en multiplier et à en perfectionner les types. C'est qu'effectivement ces appareils comptent parmi les plus importants pour l'exploitation des chemins de fer, puisqu'ils sont destinés à assurer la sécurité de la circulation sur les lignes les plus chargées de trafic; on est du reste arrivé dans ce sens à des résultats remarquables, allant jusqu'à faire succéder les trains à des intervalles de moins de 2 minutes.

CHAPITRE II.

APPAREILS DE LIGNES A VOIE UNIQUE.

Sur les lignes à voie unique, où la circulation est en général moins active que sur les lignes à double voie, il y a peu de risque que les trains viennent à se rattrapper. Le principal danger à éviter, est la rencontre de deux trains lancés en sens contraire par inadvertance.

Les appareils de block-system précédemment décrits, pourraient être combinés de façon à ce que toute section de voie unique, dans laquelle s'engage un train, soit fermée à l'autre extrémité, pour la circulation en sens opposé. Cette combinaison a même été réalisée pour quelques-uns de ces appareils; mais son application a été fort restreinte, à cause des complications et des frais qu'elle entraîne; et presque partout la sécurité de

la circulation sur les lignes à voie unique, est assurée au moyen de cloches.

Celles-ci, munies de timbres puissants, sont disposées aux gares, aux passages à niveau, et souvent même distribuées le long de la ligne, de façon à être entendues d'un point quelconque de la voie. Le départ et le sens de la marche de chaque train sont annoncés au moyen de sonneries conventionnelles, qui peuvent être entendues de tous les agents des gares et de la voie. Ceux-ci sont ainsi avisés de la circulation des trains, et doivent intervenir en cas de danger reconnu.

Par suite de la puissance qui est nécessaire aux sonneries employées à cet usage, on ne saurait encore actuellement recourir à l'emploi direct d'un courant électrique pour les actionner. Celui-ci n'intervient que pour déclencher un mouvement d'horlogerie à poids moteur, qui agit sur le marteau de la cloche. Les différents types de cloches actuellement employés, ne diffèrent que par les détails du mécanisme, leur mode de supports et la nature des courants électriques qui les actionnent.

A ce dernier point de vue, les unes sont mises en mouvement au moyen d'appareils d'induction, ce qui permet la suppression des piles; les au-

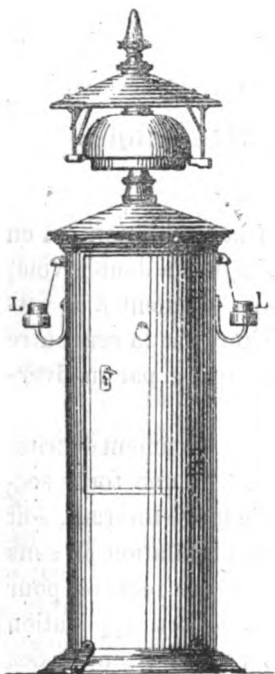


Fig. 19. — Cloche Siemens.

tres sont montées sur courant continu de pile, ce qui permet de passer très facilement un signal d'alarme ou autre, d'un point quelconque où a été placé un simple interrupteur.

Cloches Siemens. — Les cloches Siemens, quoique de différents types, sont caractérisées par leurs supports, qui consistent en colonnes de tôle ou de fonte,

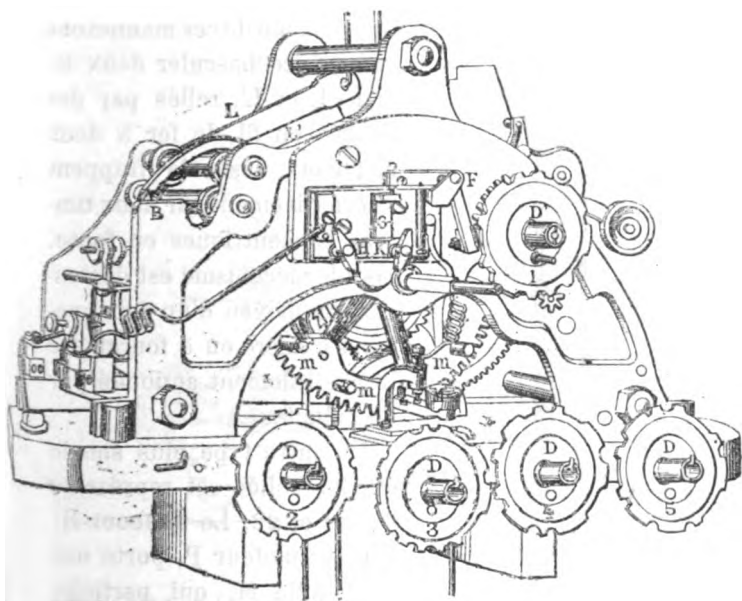


Fig. 20. — Mécanisme de cloche Siemens.

surmontées du mécanisme et du timbre. Elles ont d'abord été employées en Allemagne, puis en France, sur le chemin de fer du Nord, et tendent à devenir d'un usage assez général. Elles sont le plus souvent actionnées par un inducteur; mais elles ont été modifiées de façon à fonctionner par courant continu de pile; c'est

ainsi qu'elles sont établies sur les chemins de fer d'Orléans et de l'Est.

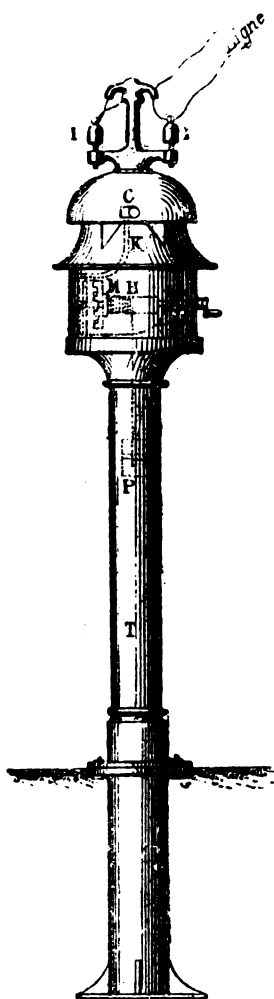


Fig. 21. — Autre type de cloche Siemens.

Dans l'un de ces types, représenté *fig. 19* et *20*, le mouvement d'horlogerie entraîne une roue munie de chevilles *m, m...* près de sa circonférence; pendant la rotation, chacun de ces mannetons vient faire basculer deux leviers *L* et *L'*, reliés par des tirages en fil de fer à deux marteaux, lesquels frappent alternativement sur deux timbres concentriques en fonte. Tout le mécanisme est déclenché au moyen d'un échappement à ancre ou à fourchette *B* généralement actionné par un inducteur.

Un autre type plus simple et plus solide est représenté *fig. 21* et *22*. Le tambour *H*, à poids moteur *P*, porte une roue folle *M*, qui participe toutefois à son mouvement, grâce au rochet *R*. Cette roue est munie de trois espèces de cames ou saillies : d'abord *t*, *t...* ayant pour but d'arrêter son mouvement, en reposant sur la partie pleine de l'axe

partiellement évidé *O*; ensuite *m, m...* destinées, pendant

la rotation, à mettre en mouvement par l'intermédiaire des butoirs Q et Q', l'axe vertical qui commande le battant K de la cloche C; enfin les chevilles *b*, qui ramèneront en place, après son déclenchement, le levier OF.

Ce levier OF, qui porte à l'une de ses extrémités l'axe partiellement évidé O, est sollicité vers le haut

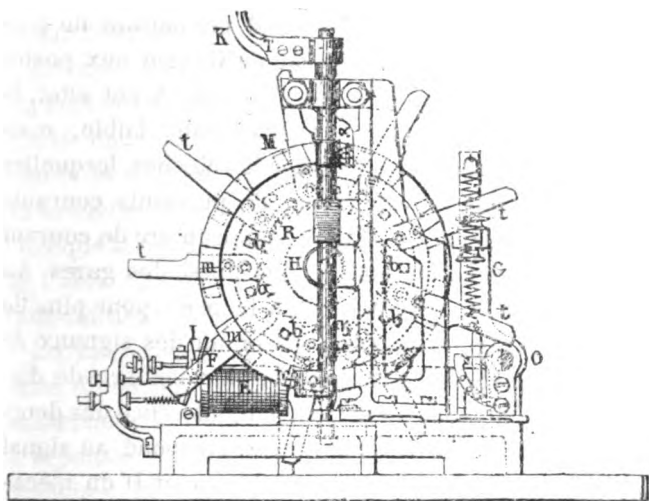


Fig. 22.

par le ressort G, et suit cette impulsion, lorsqu'il est libéré en I par le déclenchement à fourchette ou à ancre. Alors le taquet *t* passe dans l'échancrure de O, la came *m* imprime un mouvement de rotation à l'axe QQ', et il se produit un coup de cloche. Mais alors la cheville *b* vient abaisser le levier OF, et le réenclenche en I, pour attendre une nouvelle intervention du courant électrique.

Le déclenchement est à ancre lorsqu'il est actionné

par les courants alternatifs d'un inducteur; il est à fourchette lorsque les cloches sont montées sur courant continu.

On a ajouté aux appareils à cloches différents accessoires : par exemple, un enregistreur du nombre de coups passés; une aile qui tombe horizontalement à chaque signal et ne peut être relevée qu'à la main, servant ainsi à contrôler la vigilance des agents préposés, enfin un dispositif spécial permettant de passer des dépêches de secours ou de service aux postes télégraphiques des gares avoisinantes. A cet effet, le fil de ligne est traversé par un courant faible, mais continu, incapable de déclencher les cloches, lesquelles sont actionnées seulement par de puissants courants alternatifs d'induction. Mais chaque rupture de courant est enregistré sur les télégraphes Morse des gares. Au lieu de faire cette manipulation à la main, pour plus de simplicité, l'agent qui veut passer un des signaux de convention, choisit parmi un certain nombre de disques D (*fig.* 20) portant sur leur circonférence des dents d'épaisseurs inégales, celui qui correspond au signal à transmettre, le fixe sur l'axe tournant D' du mécanisme et déclenche la cloche à la main. Dans son mouvement de rotation, D' agit sur le levier F, qui produit en G des interruptions de durée proportionnelle à l'épaisseur des dents; ces interruptions se traduisent par des traits ou des points, sur une bande Morse qui se déroule à la gare, et enregistre ainsi la dépêche. On peut encore transmettre à la main, au moyen du manipulateur M; enfin les bornes H et K sont susceptibles d'être reliées aux fils d'un poste télégraphique de secours.

Dans le second modèle de cloches (*fig.* 21), les diffé-

rents disques peuvent être juxtaposés d'une manière permanente sur le tambour H près de la roue à cames M, et c'est le levier interrupteur qui se déplace jusqu'au disque voulu, grâce à l'introduction d'une sorte de clef, choisie dans une série à longueurs variables et correspondant au signal à passer.

Cloches Léopolder. — Ce système de cloches a pris naissance en Autriche, et est appliqué en outre sur les chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, et sur ceux de la Haute-Italie.

Le mécanisme est renfermé dans une boîte en bois, supportée elle-même par une console de bois, le tout abrité dans un bâtiment ou une guérite. Quant au timbre et au battant commandé par tirages et renvois de sonnette, ils sont établis soit contre un mur, comme l'indique la *fig. 23*, soit au sommet de la construction ou de l'abri. Ces cloches sont toujours montées sur courant continu.

Le mécanisme est représenté *fig. 24*. Lorsque, par suite d'une interruption de courant suivie d'un rétablissement, le levier Q, tombe dans la fourchette F, il repousse, au moyen du ressort *r*, la pièce à trois branches B, qui alors libère le mouvement d'horlogerie, en abandonnant le doigt I et quittant l'encoche D du disque N. Mais, après une révolution, la came N vient repousser l'extrémité K du levier Q, et par suite réenclencher le mécanisme.

Dans le mouvement de rotation de la roue M, les mannetons *m* font basculer le levier L, qui tire sur le battant du timbre, et produit ainsi chaque fois un coup de cloche. Un interrupteur S permet, par simple pression du doigt, de couper le courant, et par suite de faire sonner toutes les cloches de la même série.

Dans les postes intermédiaires, cet interrupteur est

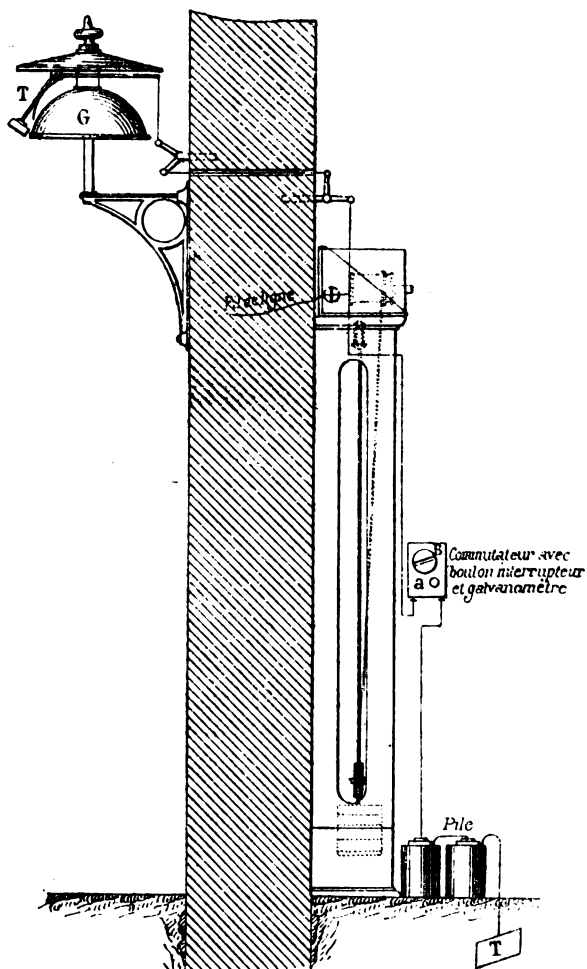


Fig. 23. — Cloche Léopolder.

sous scellé, et ne doit servir qu'à faire passer des signaux d'alarme ou des demandes de secours.

Il existe quelques dérivés des deux types de cloches décrits ci-dessus, par exemple l'appareil du chemin de fer Altona-Krieler, lequel porte, sur une colonne de fonte analogue à celle des cloches allemandes, un mécanisme se rapprochant de celui des cloches autrichiennes, augmenté d'un grand bras qui tombe à la position horizontale à chaque signal, et doit être relevé par le garde-ligne.

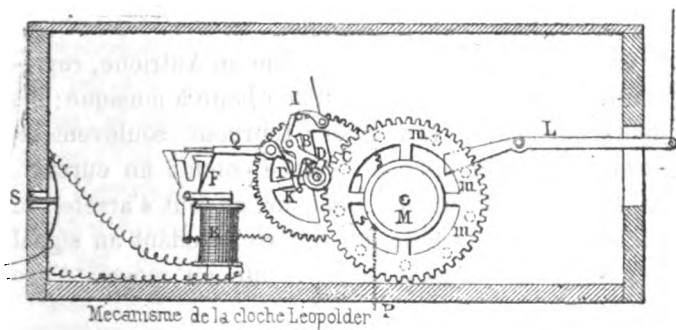


Fig. 24.

Mais ces dispositifs présentent tous cet inconvénient de l'obligation d'un remontage périodique.

Nous ajouterons seulement quelques mots sur un genre de transmetteurs automatiques, qui, combinés avec les courants continus, simplifient beaucoup la transmission des signaux conventionnels souvent assez longs, lorsque le nombre de coups à passer est un peu considérable.

Transmetteurs automatiques. — Les appareils de ce genre, employés sur le chemin de fer du Saint-Gothard, consistent en un mouvement d'horlogerie très simple et de durée très courte, ayant comme régulateur un petit piston se mouvant dans un cylindre à air.

L'axe principal peut recevoir un disque encoché à dents inégalement larges, tout à fait pareil à celui qui est représenté figure 20, et susceptible d'actionner un interrupteur également analogue à celui qui est indiqué sur la même figure. Il n'y a, pour passer un signal, qu'à mettre en place le disque correspondant, et à tirer une ficelle remontant le mouvement; la rotation du disque produit des interruptions plus ou moins espacées suivant une mesure voulue, et par suite les coups de cloche conventionnels.

Un autre transmetteur, imaginé en Autriche, représente assez bien l'intérieur d'une boîte à musique; les dents qui arment le tambour tournant, soulèvent un interrupteur; celui-ci se déplace comme un curseur, parallèlement à l'axe du tambour, et peut s'arrêter en regard de la rangée de dents correspondant au signal à passer. Le mécanisme se monte au moyen d'une petite manivelle.

Nous avons attribué les appareils à cloche aux lignes à voie unique, parce qu'effectivement c'est là surtout qu'ils sont employés; mais cet usage n'est pas exclusif; car en Allemagne surtout, et en France sur le chemin de fer du Nord, on dispose des cloches entre les postes de block, aux passages à niveau par exemple, pour y annoncer le départ et le sens de la circulation des trains. Elles peuvent du reste rendre d'importants services, partout où il est utile de faire entendre un signal d'avertissement d'une portée assez considérable.

CHAPITRE III.

APPAREILS PROTECTEURS POUR CERTAINS POINTS
PARTICULIERS.**Disques et sémaphores manœuvrés
électriquement.**

Généralement les signaux de ligne sont manœuvrés par des transmissions mécaniques, fils de fer ou barres; et même aujourd'hui en France, le chemin de fer de l'Est seul a installé quelques disques manœuvrés électriquement. Mais, d'autre part, ils ont été l'objet d'études suivies en Autriche et en Amérique, et il est résulté de ces recherches un assez grand nombre de types, qui du reste ne seront pas tous décrits ici; car ils ont pour la plupart des principes ou des mécanismes communs. Nous insisterons plus particulièrement sur le disque Schœffler, parce qu'il est essayé au chemin de fer de l'Est, et constitue d'ailleurs l'un des systèmes les mieux étudiés.

Disque Schœffler (fig. 25). — L'axe I du disque (fig. 26) est commandé par un mouvement d'horlogerie à fort poids moteur, muni d'un déclenchement à fourchette A, et d'un régulateur à force centrifuge P.

Lorsque, par suite d'une oscillation de la fourchette A, un des leviers B ou B' est tombé, l'autre extrémité C ou C' repoussant le bout D de la pièce E, libère du même coup la roue M, en dégageant l'encoche G non représentée sur la figure et le doigt O (voir la fig. 29). Le mouvement d'horlogerie ainsi déclenché fait tour-

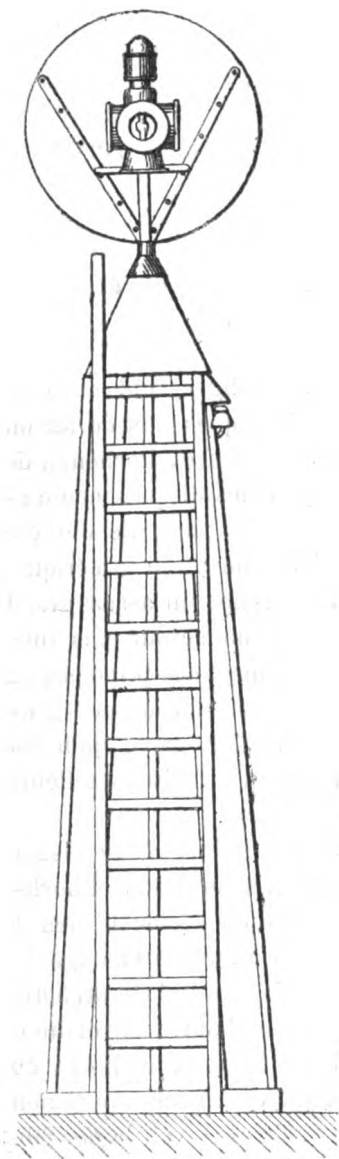


Fig. 25. — Disque Schœffler.

ner l'axe I du disque de 90° , et s'arrête alors, parce que l'une des came excentriques K ou K', solidaires de la roue M, a remonté le levier B ou B' tombé, et laissé la pièce E venir par son propre poids dans l'encoche G' cachée sur la figure et sur le doigt O.

Le mouvement d'horlogerie est régularisé au moyen d'un petit frein P, composé de deux sabots S et S' montés sur des ressorts. Ces sabots participent au mouvement de rotation et viennent frotter à l'intérieur d'une bague Q, avec d'autant plus de force que la rotation est plus rapide.

La commande de l'axe I du disque par le mouvement d'horlogerie, c'est-à-dire la transformation d'un mouvement circulaire continu autour d'un axe horizontal en un mouvement circulaire alternatif autour d'un axe vertical a été réalisée par

l'inventeur de plusieurs façons fort ingénieuses, dont nous ne retiendrons que les deux qui sont représentées *fig.* 27 et 28.

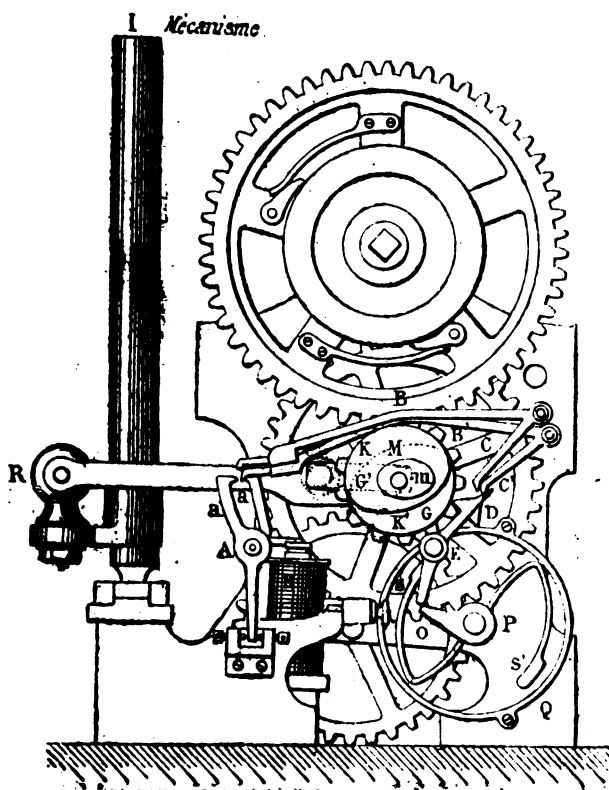


Fig. 26. — Mécanisme du disque Schœffler.

L'articulation détaillée *fig.* 27 est celle qui fait partie de la disposition d'ensemble de la *fig.* 26. L'axe horizontal M, en tournant, entraîne dans le plan vertical le bras B, qui soulève la petite base C du trapèze articulé CRR', mobile autour de l'axe horizontal RR', puis vient l'arrêter à 180° vers la gauche dans une

position symétrique de la précédente, établissant le trapèze dans une situation également symétrique, c'est-à-dire à 90° ; l'axe I, et par suite le disque, est donc venu se placer perpendiculairement à sa position précédente.

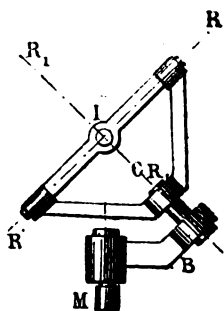


Fig. 27.

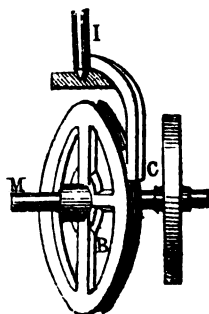


Fig. 28.

Dans la disposition de la *fig.* 28, l'axe I est orienté au moyen du doigt C engagé dans la rainure d'une poulie à gorge B; cette poulie, au lieu d'être perpendiculaire à l'axe moteur M, est inclinée à 45° , de sorte que, lorsque cet axe a fait un demi-tour, le plan de la poulie, et par suite du doigt I et du disque, a tourné de 90° .

Ce qui caractérise encore le disque Schœffler, c'est la disposition adoptée pour parer aux dangers d'une rupture de fil ou de courants atmosphériques.

La position du disque à voie libre est assurée au moyen d'un courant continu, et la position à l'arrêt par la cessation du courant; on voit ainsi que, dans le cas d'une interruption accidentelle du courant, le disque prendra la position d'arrêt.

Maintenant, supposons par exemple le disque à voie libre, dans le cas de la *fig.* 29; le bras B, plus

long que B', s'appuie sur le repos de gauche *b* de la fourchette A, tandis que B' est soutenu seulement par la came K'. Si, à ce moment, un courant atmosphérique neutralise le courant qui traverse les bobines, la fourchette laisse tomber le levier B, et le mouvement d'horlogerie déclenché tend à mettre le disque à l'arrêt. A ce moment B est bien relevé par la came K; mais l'armature ayant été, après le courant atmosphé-

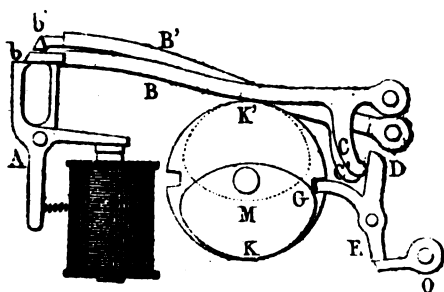


Fig. 29.

rique rappelée par l'électro-aimant, le levier B', abandonné de sa came K', ne trouve plus, d'autre part, le repos *b'* de droite qui s'est éloigné, et retombe en déclenchant à nouveau le mouvement d'horlogerie, ce qui ramène le disque à sa position primitive. Si, au contraire, pour une mise à l'arrêt, le courant avait été interrompu d'une façon permanente dans les bobines, le levier B' serait arrêté par le repos *b'*, et le disque resterait bien à l'arrêt.

On verrait pareillement que, si le disque était maintenu à l'arrêt par interruption du courant, une décharge atmosphérique ferait d'abord tomber le disque à voie libre; mais celui-ci reviendrait de lui-même à sa position d'arrêt primitive.

Enfin, pour compléter l'ensemble de ces garanties, lorsque le disque est à l'arrêt, la came *m* portée par l'axe *M* (*fig.* 26), met en contact deux ressorts non représentés sur la figure, lesquels ferment le circuit d'une sonnerie de contrôle placée à proximité du manipulateur.

Ce manipulateur n'est qu'un commutateur à manette, consistant en un fort ressort de cuivre, susceptible d'être amené soit sur une borne reliée à la pile, soit sur un arrêt simple.

Le mécanisme, qui vient d'être décrit, a été légèrement modifié pour s'appliquer à la manœuvre de bras sémaphoriques.

Autres types de disques électriques. — Pour les autres types de disques électriques, dont le nombre s'élève bien à une vingtaine, nous nous appliquerons moins à les étudier en détail, qu'à faire ressortir les points qui les différencient entre eux, au point de vue du *moteur*, du mode de *déclenchement*, des *garanties* contre la *rupture* du fil de ligne ou les *décharges* atmosphériques, enfin contre l'*arrêt à voie libre* à la fin de la course du poids ou ressort moteur du mouvement d'horlogerie.

Moteur. — Comme il s'agit ici de signaux à grande surface placés sur la voie, et s'adressant directement aux mécaniciens, on conçoit que, pour manœuvrer sûrement de tels engins, une force assez considérable soit nécessaire. Aussi, bien que l'action directe de l'électricité soit infiniment désirable, puisqu'elle supprime le remontage des mouvements d'horlogerie, peu d'inventeurs ont osé jusqu'à présent aborder ce problème, et encore leurs efforts n'ont-ils guère été couronnés de succès. En Amérique, cependant, pour les

besoins d'un block-system automatique, nous trouvons les appareils de Hall, de Pope et Hendrickson.

Le premier se compose d'un disque équilibré par un contrepoids autour d'un axe horizontal, et susceptible d'être relevé à voie libre au moyen d'une bielle, par un levier à armature attirée par un électro-aimant. Un doigt tombe et fixe le levier dans cette position, jusqu'à ce qu'un nouveau courant, agissant sur d'autres bobines, retire le doigt et laisse retomber le levier, la bielle, et le disque marquant ainsi l'arrêt. Ce dispositif n'est point à l'abri des perturbations atmosphériques. C'est un commutateur automatique solidaire de l'axe du disque, qui envoie le courant électrique, suivant le cas, dans les électro-aimants commandant le disque ou le doigt d'arrêt.

Le second appareil est constitué par un disque susceptible de tourner autour de son centre formant axe horizontal, et de présenter aux ouvertures d'un vaste guichet, des secteurs rouges ou blancs suivant le cas. En l'absence de tout courant, sous l'action d'un petit contrepoids, il marque l'arrêt par ses secteurs rouges ; sous l'influence d'un courant constant, un levier avec bielle le fait tourner de manière à présenter les secteurs blancs. Ce mode d'action le met à l'abri des perturbations atmosphériques.

Le disque de Rikli, qui n'a été appliqué qu'à titre d'essai, fonctionnait aussi par action directe, grâce à un lourd balancier qui, dans ses oscillations, entraînait un doigt fixé sur l'axe du disque, en faisant par suite tourner celui-ci. A chaque extrémité de sa course, était établi un électro-aimant, avec un déclic spécial susceptible de fixer le balancier du côté où le courant électrique l'avait attiré. Mais alors deux fils de ligne

étaient nécessaires, et il n'existait aucune garantie contre les influences atmosphériques.

Le dispositif Currie et Timms, appliqué à la manœuvre d'un bras sémaphorique, constitue une tentative plus sérieuse que les précédentes, et par la force des courants employés, et par le perfectionnement de l'électro-aimant.

Les courants sont fournis par des accumulateurs, et l'électro-aimant se compose (*fig. 30*) d'une bobine B

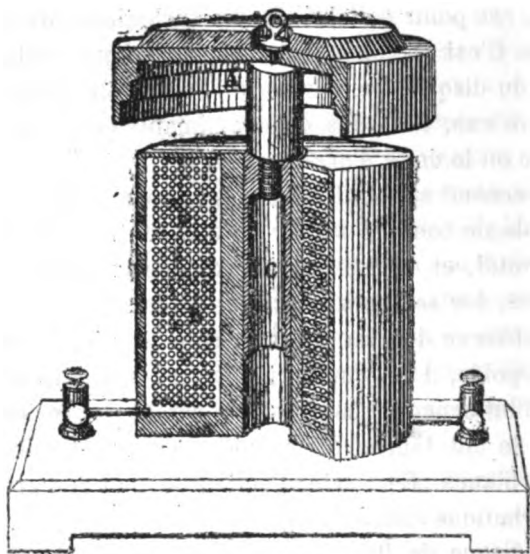


Fig. 30. — Électro-aimant Currie et Timms.

enfermée dans des parois de fer doux, avec une armature en forme de couvercle A, se prolongeant à l'intérieur de la bobine par une tige C. La bobine agit d'abord comme solénoïde sur C, puis comme électro-aimant sur A une fois rapproché ; l'attraction est ainsi

augmentée comme portée et comme force. Cet électro-aimant agit au moyen d'un chaîne sur le bras sémaphorique pour le mettre à voie libre, la position normale commandée par un contrepoids étant l'arrêt, comme garantie contre les ruptures de fil et les courants atmosphériques.

En dehors de ces quelques actions directes, l'électricité est plus généralement appliquée, dans la manœuvre des disques ou sémaphores, à obtenir le déclenchement d'un mouvement d'horlogerie à poids ou même à ressort, ce dernier cas étant particulier au disque de l'Union Electric company aux États-Unis.

Modes de déclenchement. — Quant aux systèmes mêmes de déclenchement, ils appartiennent à trois types principaux.

1° **Armature simple.** — C'est le cas du disque Rousseau, où une armature disposée en taquet, arrête successivement les quatre extrémités de deux tiges de fer disposées en croix sur l'axe vertical du disque et dans un plan perpendiculaire. Chaque courant émis fait échapper la tige en prise, et laisse tourner le disque de 90°. Mais il y a ce danger que, si l'on maintient le courant un peu trop longtemps, le taquet étant effacé peut laisser passer deux ou plusieurs tiges, et le disque tourne de 180° et plus. D'ailleurs il n'existe aucune garantie contre les ruptures de circuit ou les perturbations atmosphériques.

2° **Déclenchement à fourchette.** — Cette disposition bien connue prévient le premier danger.

3° **Déclenchement à ancre par courants alternatifs.** — Ce mécanisme est garanti en outre contre les influences atmosphériques, qui ne sauraient produire la succession de courants alternatifs nécessaire au

déclenchement. Mais, en cas de rupture de circuit, le signal ne tombe pas nécessairement à l'arrêt. C'est le cas du disque Teirich et Léopolder.

Garanties contre les ruptures de circuit et les décharges atmosphériques. — Le moyen d'empêcher qu'en cas de rupture de circuit, le signal ne reste ou ne vienne à voie libre, est celui que nous avons vu employer pour les disques Schœffler, Pope et Hendrikson, Currie et Timms ; il consiste à faire maintenir le disque à voie libre par un courant continu ; en cas de rupture de ce courant, le signal tombe de lui-même à l'arrêt. Les sonneries de contrôle ordinairement employées, n'empêchent pas le danger, mais endonnent avis.

Contre les perturbations atmosphériques, plusieurs systèmes de précautions ont été imaginés :

1° Il y a d'abord le déclenchement à ancre. Ce système a même été encore perfectionné par M. Hattemer, grâce à l'emploi d'une coulisse spéciale représentée *fig. 31*. I est l'axe du disque, O un axe

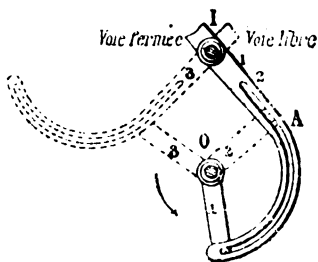


Fig. 31. — Coulisse Hattemer.

participant au mouvement d'horlogerie. On voit que, si le disque occupe la position 1 de voie fermée, pour qu'il tourne de 90° à la position 3 de voie libre, il faut que l'axe O exécute une rotation de 240° , tandis que, pour passer de la position 3 à la position 1,

il lui suffit de tourner de 120° . Si un seul déclenchement produit cette rotation de 120° , il faudra deux déclenchements successifs, pour faire passer le disque

de la position d'arrêt à la position de voie libre, et un seul pour produire l'effet inverse, ce qui est un surcroît de sécurité ajouté au déclenchement à ancre.

2° Il y a ensuite la disposition du disque Schœffler, consistant dans l'emploi de deux leviers de retombée, que nous avons décrite précédemment.

3° Une autre combinaison réalisée dans les disques Kriczik, Langié et Weirich, consiste à employer le déclenchement à fourchette, et à disposer en nombre pair, avec des longueurs alternativement inégales, les cames qui servent à ramener en prise avec les dents de la fourchette, le levier de retombée. Prenons pour exemple la figure schématique 32 correspondant à la position du disque à l'arrêt en l'absence de tout courant, et supposons l'intervention d'un courant atmosphérique. La fourchette B aura une oscillation, qui fera tomber le levier A, et par suite déclenchera le

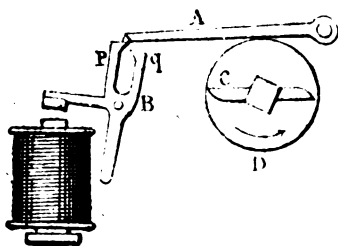


Fig. 32.

mouvement d'horlogerie, ce qui mettra le disque à voie libre. Mais, dans la rotation de la roue D, la came c, plus courte que C, n'aura relevé A que jusqu'à la hauteur du repos q de la fourchette B, et comme à ce moment l'influence de l'électricité atmosphérique aura cessé, A ne trouvant pas la dent q retombera en laissant le disque revenir à l'arrêt. Au contraire, un courant permanent envoyé du poste de manœuvre, maintiendrait le disque à voie libre, puisque A serait arrêté sur q.

4° Il y a aussi la solution appliquée au disque Hipp

(fig. 33), consistant dans l'emploi de deux fils de ligne L et L', et d'un commutateur C actionné par le mouvement d'horlogerie A dans des conditions spéciales. A chaque manœuvre du disque D, ce commutateur C coupe le dernier circuit employé, celui de la ligne L par exemple, et va fermer, du moins au disque, le circuit de l'autre fil de ligne L', tandis que le manipulateur M du poste de manœuvre continue à fermer de son côté le circuit du premier fil L, suivant le schéma de la fig. 33. Si, à ce

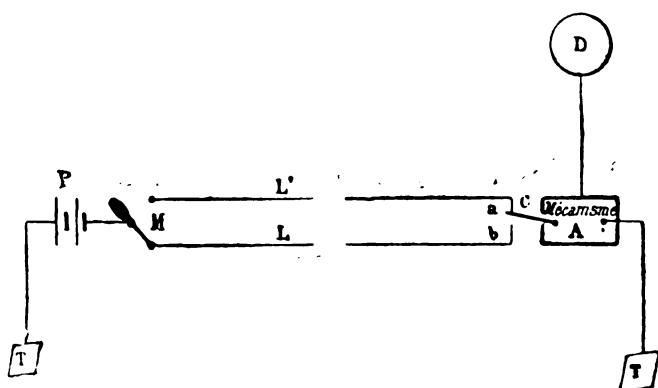


Fig. 33.

moment, un courant atmosphérique vient parcourir le fil L' et mettre le disque en mouvement, le commutateur C va de la borne a à la borne b, reçoit le courant envoyé de M, produit un nouveau déclenchement, et par suite, après un double mouvement, le disque est ramené à sa position primitive.

5° Nous citerons enfin, mais seulement pour mémoire, la combinaison électro-mécanique du disque Rommel, trop compliquée pour être décrite ici en détail.

Maintien à l'arrêt du disque, à la fin de la

course du poids moteur. — On comprend facilement l'importance de cette condition, pour éviter le danger résultant d'une négligence dans le remontage de l'appareil.

La réalisation de cette garantie est obtenue très simplement, dans les disques Banowits et Hattemer : la corde ou la chaîne portant le poids moteur est munie à son extrémité qui tient au tambour, d'un taquet qui, par lui-même, ou par l'intermédiaire d'une butée, vient suspendre le mouvement d'hologerie alors que le signal est encore à l'arrêt.

Tous les appareils précités sont du reste munis de sonneries de contrôle accusant leur bon fonctionnement et leur position à l'arrêt.

Il va sans dire que tout ce qui précède, s'applique également au cas où les mécanismes étudiés sont appliqués à la manœuvre de bras sémaphoriques au lieu de disques.

Désengageur électrique.

Pour les disques commandés par des fils de transmission, MM. Saxby et Farmer ont inventé un ingénieux dispositif, qui permet, d'un ou plusieurs points différents, de soustraire à l'action du levier la manœuvre du signal, ou bien de faire tomber celui-ci à l'arrêt, quand même le levier serait maintenu dans la position qui l'efface. Cet appareil, connu sous le nom d'*électric slot signal*, constitue un véritable désengageur électrique (*fig. 34*).

Le levier de manœuvre N est relié au fil de transmission F fixé au levier S, par l'intermédiaire de la

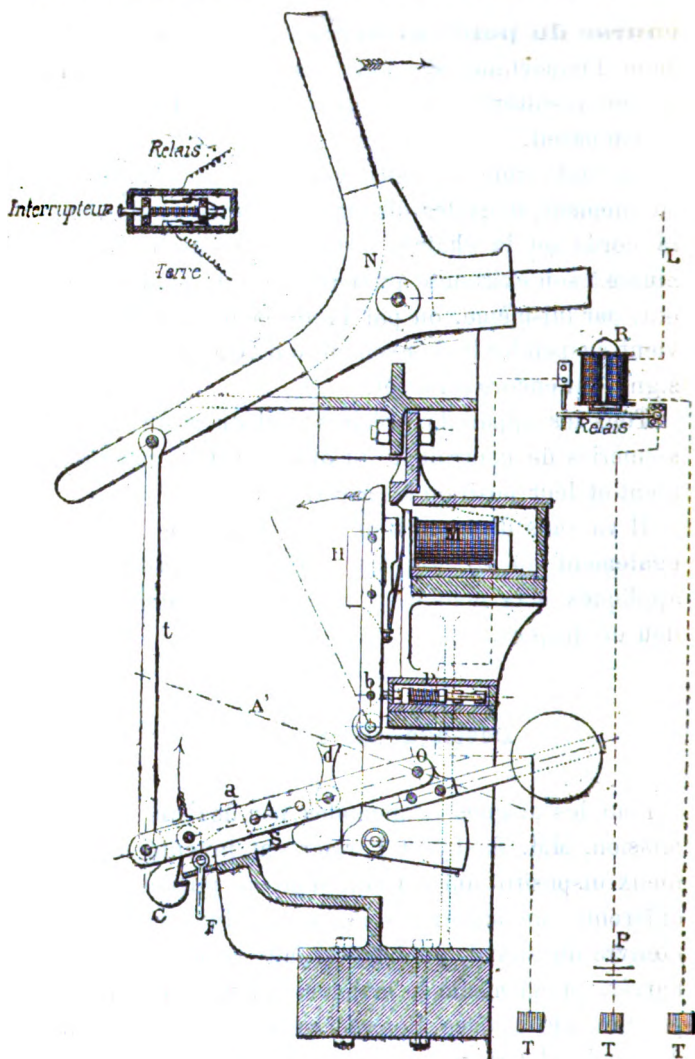


Fig. 34. — Electric slot signal.

biellè *t* et du crochet C porté par le levier A, ayant l'axe O commun avec S.

Dans l'état de la *fig.* 34 correspondant au disque à l'arrêt, en manœuvrant le levier N vers la droite, on tirera sur le fil F, et on pourra effacer le signal, A venant occuper la position A'; mais cela, à la condition que le marteau H reste vertical, maintenu par adhérence à l'électro-aimant M. Si, au contraire, le courant qui parcourt les bobines M est interrompu, le marteau H tombant sur la tête *a* du crochet C, lui fera abandonner l'extrémité du levier S et par suite le fil F. Dans ces conditions, le signal sollicité par son contrepoids reprendra la position d'arrêt, et ne pourra être effacé qu'après rétablissement du courant électrique, et un double mouvement du levier N, le premier consistant à relever le marteau par l'intermédiaire de A et de la pièce *d*, qui saisit la cheville *b*, le second, consistant à ramener le crochet C en prise avec S pour tirer sur le fil F.

Afin d'envoyer dans les bobines M un courant plus fort, on emploie une pile locale P, au moyen du relais R, et encore pour ménager ce courant, lui fait-on traverser l'interrupteur *r* représenté à part, lequel ne ferme le circuit, qu'au moment où le marteau est amené à sa position verticale.

D'après ce qui précède, on voit que, pour maintenir ou faire tomber le disque à l'arrêt, il suffit d'interrompre le courant de ligne en un point quelconque de son circuit.

Déclenchement électro-automatique du frein à vide.

Pour suppléer aux indications fournies aux mécaniciens par les signaux, la compagnie du Nord applique

à certains d'entre eux les appareils de déclenchement, imaginés d'abord par MM. Lartigue, Forest et Digney pour actionner un sifflet placé sur la locomotive, puis transformés par MM. Delebecque et Bandérali pour faire fonctionner le frein à vide.

Nous n'insisterons pas sur le sifflet électro-automoteur, car il tend à disparaître, pour faire place au mécanisme de déclenchement du frein, lequel appartient du reste au même principe.

Ce dernier, renfermé dans une boîte de fonte Q (fig. 35) fixée sur la machine, comprend un électro-

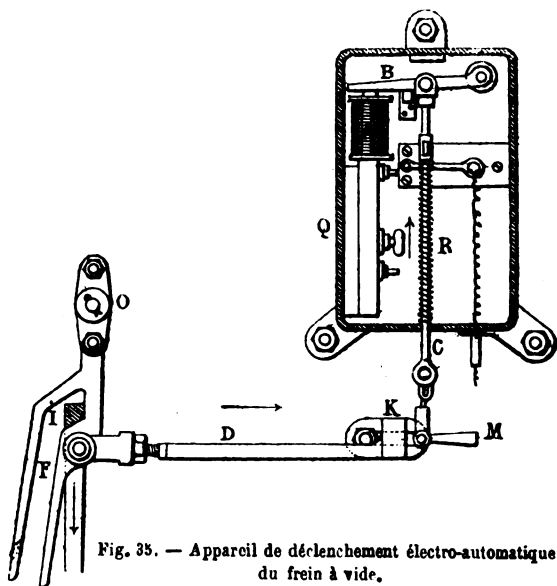


Fig. 35. — Appareil de déclenchement électro-automatique du frein à vide.

aimant Hughes A, son armature B, et une bielle C fixée à celle-ci et sollicitée vers le haut par un fort ressort R. Cette bielle s'articule à la tige horizontale D qui commande la fourchette F, dans laquelle repose le levier I

de la valve d'entrée de la vapeur dans le frein. Lorsqu'un courant désarme l'électro-aimant A, la bielle C

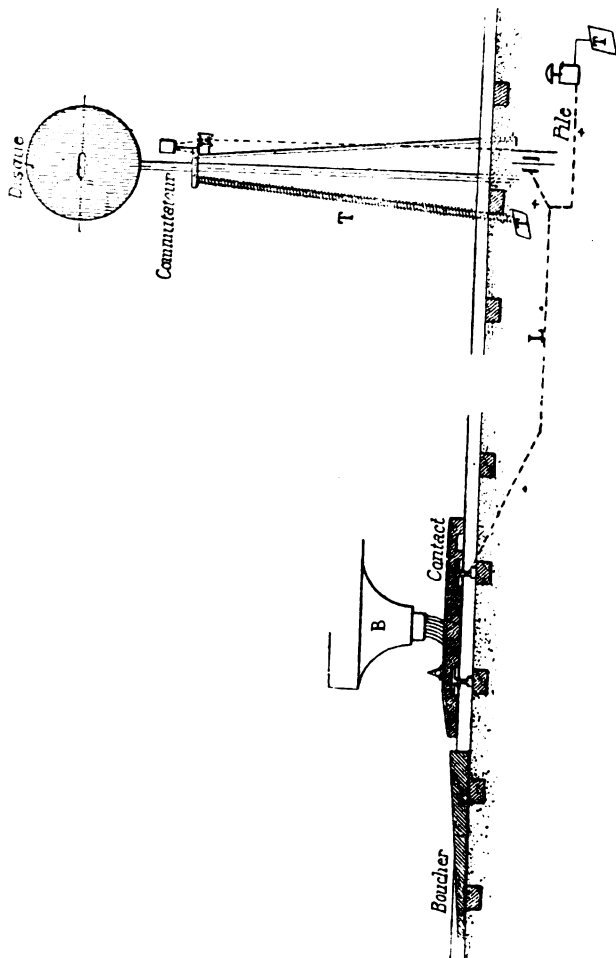


Fig. 36.

remonte, entraîne la tige D par-dessus son butoir K, et I glissant dans la fourchette F fait fonctionner le frein.

Pour envoyer le courant électrique dans les circonstances voulues, on dispose sur la voie (*fig. 36*), entre les deux rails et à 200 mètres environ en avant du disque, un contact fixe A, connu aujourd'hui sous le nom de *crocodile* par suite d'une vague ressemblance, et consistant simplement en une plaque de cuivre isolée sur une pièce de bois de 2 mètres environ de longueur, et reliée au moyen d'un câble souterrain au pôle positif d'une pile communiquant elle-même au commutateur du disque.

Lorsque le disque est à l'arrêt, le pôle négatif de la pile se trouvant mis à la terre, la plaque de cuivre est chargée d'électricité positive; et lorsque vient à passer une machine munie de l'appareil de déclenchement, et portant en dessous une forte brosse métallique B reliée électriquement au dit appareil, le courant pris par cette brosse se rend à l'électro-aimant Hughes, et de là à la terre par la masse de la machine, les roues et les rails, en produisant le déclenchement du frein, comme il a été expliqué.

Ainsi, dans ces conditions, quand même le mécanicien n'aurait pas aperçu le signal à l'arrêt, son frein fonctionnant automatiquement arrêterait le train.

Appareil de protection électro-automatique.

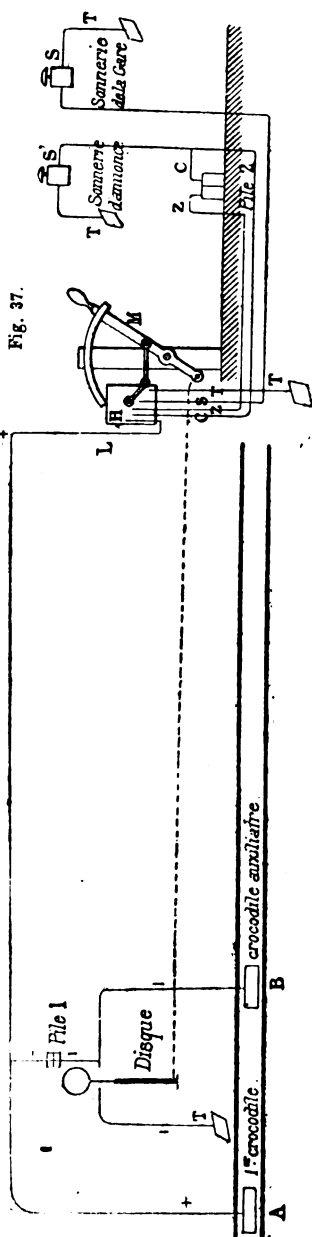
Allant encore plus loin dans cette voie de l'automatisme, MM. Forest, Lartigue et Digney ont songé à faire couvrir un train entrant en gare par ce train lui-même, si un agent oublie de mettre le disque à l'arrêt derrière lui, et l'approche de ce train est annoncée à la gare au moyen d'une sonnerie.

Ces résultats sont obtenus par l'adjonction d'un cro-

codile auxiliaire B (*fig. 37*) au pied même du disque, d'un commutateur spécial H, d'une pile 2 et d'une sonnerie S' à la gare, ces organes étant reliés électriquement entre eux, comme l'indique le schéma de la *fig. 37*.

Le premier contact A fonctionne normalement, ainsi qu'il a été expliqué précédemment, lorsque le levier M est manœuvré en temps voulu.

Si, au contraire, un train survenant n'est pas couvert assez tôt, lorsqu'il passe sur le second contact B il met à la terre le pôle négatif de la pile 1; le frein n'est pas déclenché, mais le commutateur H est actionné, et par sa rotation met à la terre le pôle négatif de la pile 2, tandis que le pôle positif va d'autre part agir sur la sonnerie S' et charger le crocodile A. Ainsi, d'un côté la gare est prévenue de l'approche du train non couvert par le disque, d'autre



part le contact A est prêt à faire fonctionner le frein d'un second train survenant.

Cet appareil est installé au nord de la gare d'Enghien, sur le chemin de fer du Nord.

Appareil d'avertissement pour passages à niveau, gares, etc.

Aux passages à niveau, il y a intérêt à être averti de l'arrivée des trains, surtout lorsque ces passages sont très fréquentés, afin de ne pas faire attendre inutilement les voitures et piétons qui s'y présentent ; de même dans certaines gares où les manœuvres sont nombreuses et engagent les voies principales. Les moyens d'avertissement sont assez variés, et diffèrent suivant les lignes et les compagnies. Nous connaissons déjà les cloches appliquées plus spécialement aux voies uniques. Sur les lignes munies du *blok-system* et de l'électro-sémaphore Lartigue, la compagnie du Nord a installé, dans le circuit même du block, des espèces de bras sémaphoriques répétiteurs, maintenus normalement relevés par des électro-aimants Hughes, et tombant à la position horizontale lors du passage du courant d'annonce ; ils sont ensuite relevés à la main. Là où le block-system n'existe pas, ces appareils peuvent être combinés avec le crocodile Lartigue, et par suite fonctionner automatiquement. Certains avertisseurs constituent de simples appareils de correspondance de poste à poste, comme l'ancien appareil de la compagnie P.-L.-M. ; d'autres, au contraire, sont actionnés automatiquement par le train survenant, comme dans la nouvelle disposition de la compagnie P.-L.-M., et de plus fournissent des

signaux acoustiques éclatants, comme les appareils à trompe essayés à la compagnie du Nord.

Appareil indicateur de la compagnie P.-L.-M. — Cet appareil, représenté complètement installé avec ses accessoires sur la *fig. 38*, consiste en une ai-

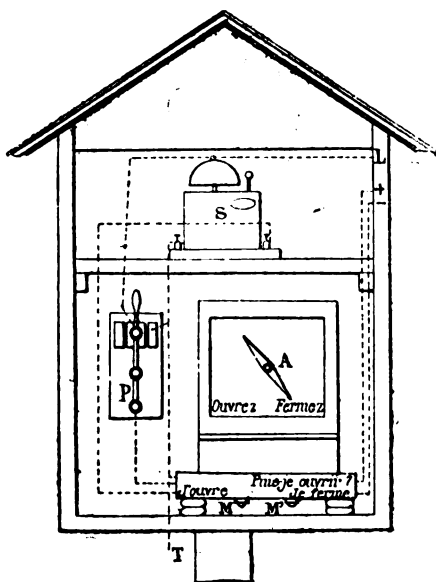


Fig. 38. — Appareil avertisseur de passage à niveau de la Compagnie P.-L.-M.

guille indicatrice A, montée d'une façon tout à fait analogue aux aiguilles de l'appareil Tyer, sur l'axe d'une bobine, entre les pôles opposés de forts aimants ; elle est susceptible de s'incliner à droite ou à gauche, suivant le sens du courant envoyé dans la bobine. Le manipulateur se compose de deux pédales M et M', qui, pareillement aux boutons du Tyer, peuvent envoyer sur la ligne des courants positifs ou négatifs.

Les barrières étant fermées, le gardien sollicité de

les ouvrir, interroge le poste précédent dans le sens du train attendu, en appuyant sur la pédale convenable, et reçoit la réponse « ouvrez » ou « fermez ». L'appareil est accompagné d'un paratonnerre P, et d'une sonnerie S destinée à appeler l'attention de l'agent préposé.

Avertisseur automatique de la compagnie P.-L.-M. — L'avertisseur lui-même se compose simplement d'une sonnerie ordinaire, actionnée par l'intermédiaire d'un relais à voyant, lorsqu'un train atteint un interrupteur placé à 1.200 ou 1.500 mètres en avant du passage à niveau. La sonnerie s'arrête lorsque le voyant est relevé à la main. Le relais est monté sur courant continu, afin que toute rupture, même accidentelle, du circuit se signale d'elle-même par une sonnerie prolongée. L'interrupteur a quelque analogie avec un podomètre agrandi, qui serait fixé à un rail et vibrerait avec lui, produisant une interruption à chaque oscillation; il n'est soumis à aucun choc direct ni à aucune condition de réglage.

Pédales de la compagnie du Nord. — Antérieurement aux essais de la compagnie P.-L.-M., la compagnie du Nord employait comme organes de contact automatique, des pédales rencontrées par les roues des trains, de deux types différents : l'une, munie d'un soufflet soulevé et rempli d'air au passage de la première roue de la machine; pendant le temps que le soufflet met à se dégonfler, la pédale échappe au choc des roues suivantes; l'autre, portant un commutateur à mercure, analogue à celui que nous verrons plus loin appliqué aux contrôleurs d'aiguilles. Mais les résultats fournis par ces appareils sont inférieurs à ceux qui ont été obtenus avec le crocodile.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces appareils de contact automatique, car ils n'ont encore que des applications restreintes, bien que la variété des types essayés soit très considérable.

Trompe électro-automatique. — Cet appareil a été étudié par M. Forest pour être combiné avec le crocodile.

Il comprend (fig. 39) un cylindre à air S surmonté d'une corne K; une tige verticale T terminée en haut par un piston, et engrenant avec la poulie à ressort barillet P, qui tend à la remonter en chassant l'air dans la trompe. Mais cette tige est arrêtée en I par le doigt e, jusqu'à ce qu'un train, passant sur le contact fixe, envoie dans l'électro-

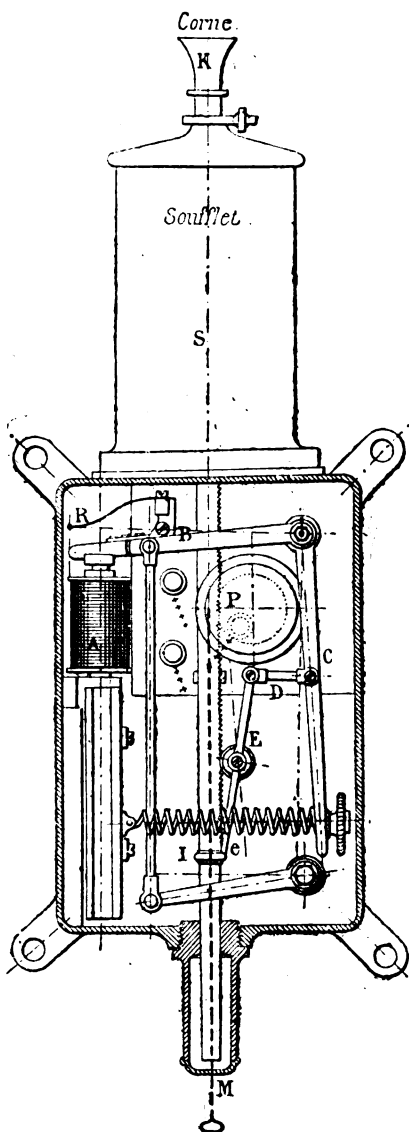


Fig. 39. — Trompe électro-automatique.

aimant A un courant qui détache le levier B et dégage le cran I, par l'intermédiaire du système articulé CDE. Alors l'air est chassé dans la trompe par le piston, en même temps que le levier B, venant au contact du ressort R, ferme le circuit d'un courant électrique actionnant une sonnerie trembleuse. Le garde, ainsi averti, rétablit toutes choses en leur état primitif, en tirant sur la chaîne M. Cette nécessité de remonter l'appareil après chaque fonctionnement, constitue un inconvénient dans certains cas.

Une disposition de M. Sartiaux remédie à ce défaut, en établissant le déclenchement de la trompe sur un mouvement d'horlogerie, qui ne demande à être remonté qu'après avoir fourni un assez grand nombre de signaux. L'appareil porte en outre un indicateur optique, consistant en une aile qui tombe à chaque annonce de train, et doit ensuite être relevée à la main.

Barrière manœuvrée électriquement.

La Société autrichienne I. R. et P. des chemins de fer de l'État présentait à l'exposition d'électricité de 1881 une barrière (système M. Politzer) manœuvrée électriquement à distance.

La barrière (*fig. 40*), formée de deux longs bras B en bois dûment équilibrés par des contrepoids O, s'élève ou s'abaisse suivant le cas, entraînée par un mouvement d'horlogerie établi en K, assez analogue, sauf le déclenchement qui est à ancre, à celui qui actionne le disque Schœffler. Ce mouvement, transmis directement à l'une des lisses B de la barrière par la bielle G, est communiqué à l'autre par l'intermédiaire des tiges S et de l'axe V. Une charnière à ressort *a* établie sur

chaque bras, permet à une voiture engagée sur la voie de sortir.

Cette barrière est manœuvrée au moyen de courants

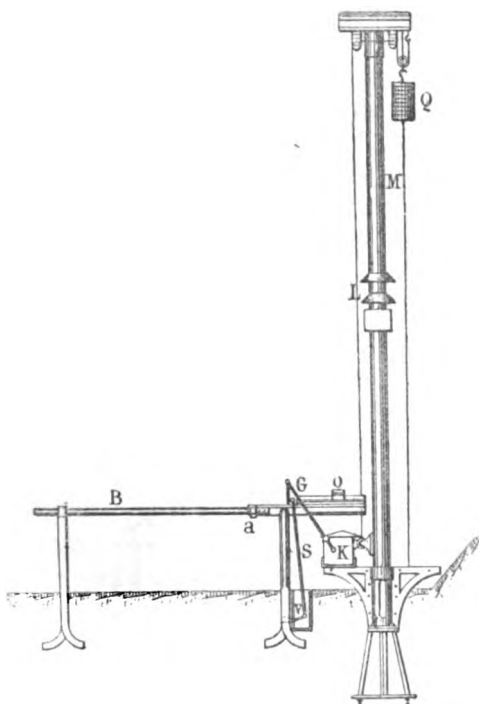


Fig. 40. — Barrière manœuvrée électriquement.
(Système de M. Politzer.)

d'induction, et le bouton de contact qui ferme le circuit, est enclenché avec un bouton voisin, de telle sorte qu'on ne peut abaisser la barrière, sans avoir auparavant avec le second bouton, actionné la sonnerie d'avertissement L.

Une barrière de ce système était établie sur la ligne de Temesvar à Orsova.

Verrou électrique pour aiguilles et signaux.

La compagnie des chemins de fer de l'Est expérimente actuellement à Lagny, des verroux électriques destinés à enclencher entre eux les signaux et aiguilles, de telle façon qu'on ne puisse ouvrir les disques que si l'aiguille est fixée dans sa position normale, ou bien qu'on ne puisse changer celle-ci que sous la protection des signaux enclenchés à l'arrêt.

L'organe de verrouillage du système Siemens est représenté *fig. 41*.

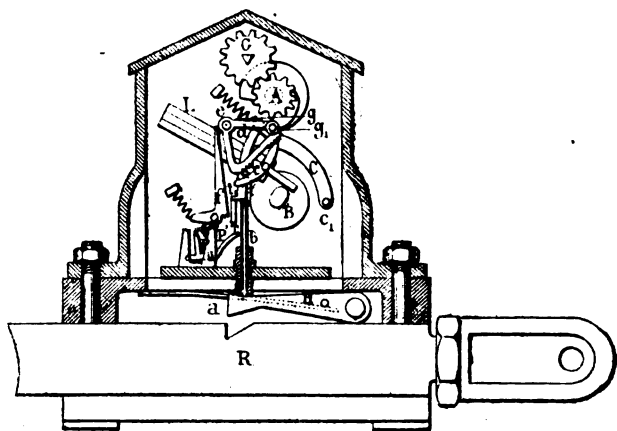


Fig. 41. — Verrou électrique.

Le verrou R à encoche qui commande soit l'aiguille, soit le levier du disque, peut être immobilisé par le taquet H, lorsque la tige *b* vient appuyer sur son extrémité, en triomphant du ressort *a*. Cette tige *b* est enfoncée par le méplat *t* du levier C mobile autour de *c*,, lorsqu'une came de l'arbre A vient abaisser la tête de ce levier munie d'un galet *g*. Cette pièce C est mainte-

nue dans cette position par la fixation de son bec t_1 dans l'entaille inférieure du doigt f , tant que l'extrémité supérieure de celui-ci est maintenue à droite de l'axe partiellement évidé e ; enfin cet axe est solidaire de l'échappement à ancre cd , actionné par la bobine B, dont l'armature est polarisée par l'aimant permanent L.

La *fig. 41* représente le verrou R à l'état libre. Pour l'immobiliser, avec une clef triangulaire, on fait tourner le pignon G qui engrène avec A. Tandis que l'une des cames de ce second pignon A abaisse le levier C et la tige b , comme il vient d'être expliqué, une autre came appuie, par l'intermédiaire du galet g_1 , sur l'échappement à ancre d , normalement sollicité vers le haut par un ressort à boudin; l'axe e tourne, et par sa partie pleine vient fixer le doigt f vers la droite, et par suite immobiliser tout le système dans la position d'enclenchement. Pour le déclenchement, des courants alternatifs produits par un inducteur placé au poste de gare, permettront à l'ancre de se relever, au doigt f de s'échapper vers la gauche par l'échancrure de l'axe e , et à C, b et H de se relever sous l'action du ressort a . Le verrou R sera donc redevenu libre.

Remarquons sur la gauche de la *fig. 41* un ressort p susceptible de venir au contact de p' , lorsqu'il en est rapproché au moyen de la touche isolante T portée par C; mais il faut pour cela que le système soit à l'état enclenché.

C'est une série de contacts analogues, qui permettent la commande réciproque des aiguilles et des signaux. En effet, les communications électriques sont disposées de telle façon, que les circuits des signaux passent par les contacts des aiguilles, et réciproquement; par suite,

si les signaux sont déverrouillés, les circuits des aiguilles sont rompus, et le poste de gare ne peut envoyer des courants électriques autorisant des changements de voie; de même si les aiguilles sont déverrouillées, les signaux sont immobilisés à l'arrêt.

CHAPITRE IV.

APPAREILS DE CONTRÔLE ET D'ENREGISTREMENT.

L'emploi de l'électricité pour le contrôle de certaines manœuvres, ou du fonctionnement de certains organes importants, est un des usages les plus simples et en même temps des plus rationnels que l'on puisse faire de cet agent.

Contrôleurs de disques.

Ces appareils sont destinés à donner avis, vers le levier même de manœuvre, que le signal occupe bien la position voulue, ordinairement la position d'arrêt.

Ils se composent d'un commutateur établi sur le disque même et mû par lui, et d'un signal acoustique ou optique, placé généralement près du levier de manœuvre.

Le commutateur, qui sert à fermer le circuit électrique lorsque le disque est à l'arrêt, est généralement fort simple, quoiqu'il en existe une assez grande variété de types que nous ne pouvons ici passer en revue.

Le signal de contrôle est d'ordinaire une simple son-

nerie trembleuse, ou bien, dans certains cas, pour éviter la confusion ou le bruit, un répéteur miniature, dans lequel un électro-aimant attire un petit voyant en regard d'un guichet.

Contrôleurs d'allumage.

La nuit, les signaux ne fourniraient aucune indication aux mécaniciens, si les lanternes venaient à s'éteindre. Aussi, dans le but de contrôler leur allumage, la compagnie P.-L.-M. munit-elle tous ses signaux placés en dehors de la vue directe, d'un appareil spécial, désigné sous le nom de *photoscope*.

Il consiste (*fig. 42*) en une spirale S composée de

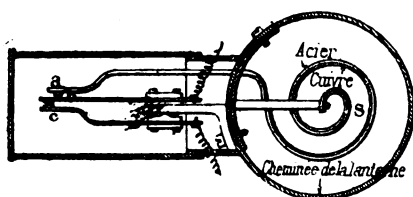


Fig. 42. — Photoscope.

deux métaux d'inégale dilatation, cuivre et acier, placée dans la cheminée de la lanterne au-dessus de la flamme. Lorsque la spirale est échauffée, l'extrémité *a* vient mettre en contact les deux ressorts *b* et *c*, qui ferment le circuit de la sonnerie du disque; celle-ci ne fonctionne que si, d'une part, le signal est bien à l'arrêt, à cause du commutateur, et d'autre part, si la lanterne est allumée, à cause du photoscope.

Mais pour que celui-ci ne coupe pas le circuit de la sonnerie de contrôle pendant le jour, où la lanterne n'est pas allumée, il faut qu'il soit mis en dehors. Cet

effet est obtenu de la manière suivante (*fig. 43 et 44*).

Sur la lanterne même est fixé l'appareil D représenté *fig. 43*, appelé *disjoncteur*, et consistant en un coin de

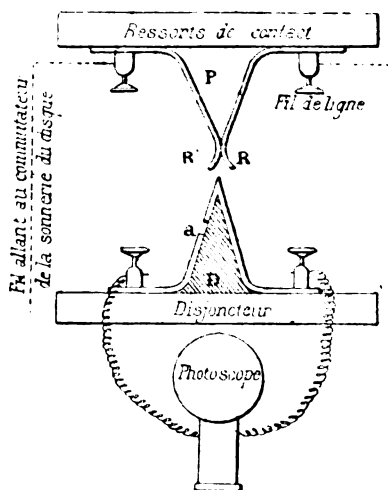


Fig. 43.

bois recouvert de deux plaques métalliques séparées en *a*; puis en haut du disque est établi un patin P portant deux ressorts de contact R et R', entre lesquels peut venir s'engager le disjoncteur, lorsque la lanterne est élevée à sa position de nuit. Le courant électrique qui, le jour, en arrivant de la ligne, passe directement du ressort R au ressort R' pour descendre de là au commutateur, est obligé, la nuit, grâce à l'intercalation du disjoncteur, dont chaque plaque est reliée au photoscope, de traverser celui-ci.

Contrôleurs d'aiguilles.

Ces appareils ont pour but d'avertir si les lames des

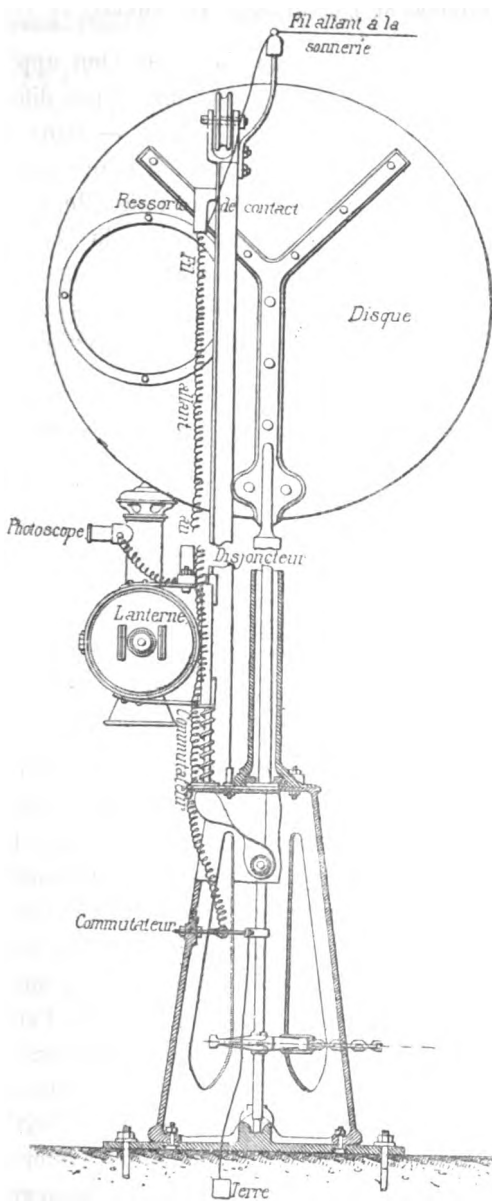


Fig. 44. — Montage d'un disque avec commutateur et photoscope.

aiguilles de changement de voie sont bien appliquées contre les rails. Il en existe plusieurs types différents.

Type du chemin de fer de l'Ouest. — Dans ce système, le col de cygne C (fig. 45) qui manœuvre directement l'aiguille, porte une

tige verticale Q qui, dans les deux positions extrêmes de l'aiguille, les lames étant bien appliquées, écarte des

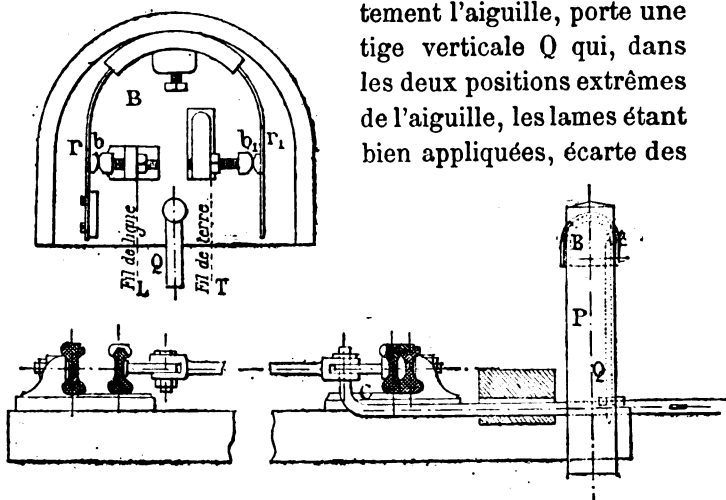


Fig. 45. — Contrôleur d'aiguilles. (Système du chemin de fer de l'Ouest.)

bornes b ou b_1 , l'un des ressorts de contact r ou r_1 , et par suite, coupe le circuit $LbrBr_1b_1T$. Mais dès que le contact des lames cesse, le circuit se trouve fermé et actionne une sonnerie d'avertissement; l'audition de cette sonnerie prévient que l'aiguille est entre-bâillée.

Type du chemin de fer du Nord (système Lartigue). — Cette disposition contrôle directement l'application de la lame contre le rail; mais elle exige l'emploi de deux commutateurs. Au chemin de fer du Nord, chacun de ces commutateurs (fig. 46) consiste en une boîte K, autrefois en ébonite, aujourd'hui en cristal, divisée par la cloison a en deux compartiments communiquant toutefois par l'ouverture b ; l'un des compartiments

porte deux contacts de platine *c* et *d*, réunis électriquement par un bain de mercure, lorsque la boîte est horizontale, et isolés l'un de l'autre lorsqu'elle est in-

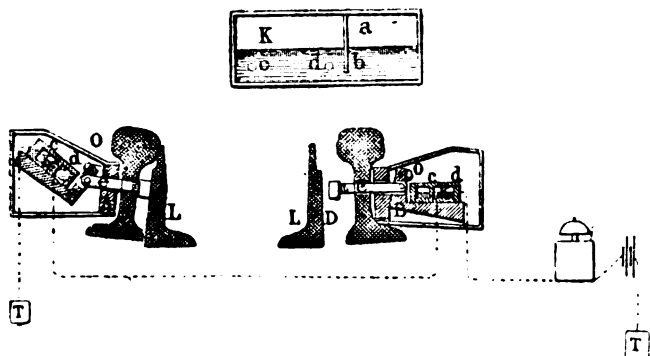


Fig. 46. — Contrôleur d'aiguilles (système Lartigue).

clinée. Cette boîte *K* est fixée extérieurement au rail, par l'intermédiaire d'une pièce en équerre *B*, mobile autour du point *O*, et s'incline sous la pression de la tige *e*, repoussée par l'une des lames de l'aiguille. On voit d'après le schéma de la *fig.* 46, que, lorsque l'une des lames est bien appliquée, le circuit est interrompu par la boîte relevée, tandis que la sonnerie *S* devra se faire entendre si l'aiguille est entre-bâillée.

Type du chemin de fer P.-L.-M. (système Chaperon). — M. Chaperon, tout en conservant la même disposition d'ensemble, a remplacé le commutateur à mercure par un commutateur circulaire à frottement. La tige *e* (*fig.* 47) agissant sur le levier *B*, à axe *O* et à contre-poids *Q*, fait tourner le secteur *S* en ébonite, celui-ci portant sur sa partie médiane une lame métallique susceptible de faire communiquer les deux ressorts *r*; ceux-ci touchent l'ébonite dès que la tige *e* a été repoussée par

la lame d'aiguille correspondante. On obtient donc les mêmes effets qu'avec le commutateur à mercure.

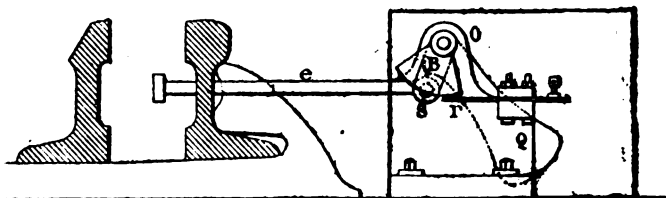


Fig. 47. — Contrôleur d'aiguilles (système Chaperon).

D'une manière générale, on remarquera qu'avec un commutateur et une sonnerie ou une boussole, on peut contrôler à distance la position de tout organe mobile ; aussi n'insisterons-nous pas davantage sur les applications diverses qui ont été faites dans cet ordre d'idées, par exemple, aux appareils de désengagement de MM. Saxby et Farmer, ou aux freins continus à air comprimé ou raréfié, etc., malgré les dispositions ingénieuses étudiées par la compagnie du Nord pour ces cas particuliers.

Contrôleurs de vitesse.

La vitesse étant le rapport de l'espace parcouru au temps employé pour le parcours, il suffit pour la calculer, de se donner l'un de ces deux éléments et de mesurer l'autre, ce qui constitue deux sortes de contrôleurs de vitesse : les uns qui enregistrent sur un appareil chronométrique le temps employé pour le parcours entre deux points fixes, les autres qui inscrivent sur une bande se déroulant proportionnellement aux espaces parcourus, des périodes de temps égales et connues.

Contrôleurs mesurant le temps. — Ce premier genre

d'appareils ne fournit que des indications sur la vitesse des trains en certains points.

Ils sont constitués essentiellement par deux contacts électriques disposés sur la voie à une certaine distance l'un de l'autre, et d'un enregistreur chronométrique, sur lequel deux crayons actionnés par un électro-aimant relié électriquement aux contacts, marquent respectivement les instants t et t' du passage des trains à chacun de ces contacts distants d'une longueur e ; la vitesse est donnée par la formule $v = \frac{e}{t' - t}$.

Tel est le type des contrôleurs suivants :

Appareil Digney, essayé au chemin de fer du Nord.

— L'enregistreur est un récepteur Morse à deux molettes ; chacune d'elles vient marquer un trait sur la bande de papier qui se déroule, lorsque le contact correspondant est rencontré par un train. Le rouleau d'entraînement porte des pointes qui tracent sur le papier des divisions en secondes. Enfin, pour que la bande ne se déroule pas indéfiniment, le mouvement d'horlogerie est arrêté au bout de 90 secondes par un butoir, qui le déclenche seulement au passage d'un nouveau train.

Appareil Jousselin-Garnier, expérimenté au chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée. — Un cadran en papier de grand diamètre, divisé en minutes, opère sa rotation complète en vingt-quatre heures ; il est successivement perforé par deux poinçons, au passage de chaque train.

Appareil des chemins de fer suisses du Saint-Gothard et du Jura, Berne, Lucerne. — L'enregistreur tient à la fois des deux précédents, en ce sens que, d'une part, il déroule une bande de papier comme un récepteur

Morse, et, d'autre part, il est constitué par un véritable mouvement d'horlogerie, donnant l'heure extérieurement sur un cadran; l'entraînement de la bande est déterminé au moyen d'un taquet d'arrêt à la volonté du chef de station.

Il y a encore les contrôleurs de Guntershausen, du Berg-Marche, etc., qui sont caractérisés surtout par le genre des contacts électriques actionnés par les trains. Mais nous ne voulons pas entrer dans le détail de ces organes considérés encore comme trop imparfaits.

Contrôleurs mesurant l'espace parcouru. — Ces appareils fournissent des indications continues et le diagramme en quelque sorte de la marche des trains. Mais ils sont plus compliqués et plus délicats que les précédents; ils sont installés dans l'un des véhicules du train approprié à cet usage.

Ils consistent généralement en une bande de papier qui se déroule proportionnellement aux espaces parcourus, et sur laquelle un crayon vient tracer des intervalles de temps fixes, par exemple 10".

Le mouvement du papier est commandé par la rotation même des roues du véhicule, au moyen de transmissions ou engrenages, qui réduisent la vitesse de déroulement, tout en la laissant proportionnelle au nombre de tours de roues, et par conséquent à la vitesse de translation du train.

Le crayon est actionné par un électro-aimant, commandé lui-même par une horloge à contacts électriques.

Tel est le principe des enregistreurs de vitesse installés dans les wagons dynamomètres des compagnies du Nord et de l'Est.

Ces wagons, montés comme de véritables laboratoires de mesures, fournissent d'ailleurs d'autres indi-

cations extrêmement importantes, comme les efforts de traction sur la barre d'attelage, le kilométrage, le nombre de tours de roues, etc.

Le wagon dynamomètre de l'Est porte de plus un totalisateur du travail de traction, et fournit le diagramme tracé à distance dans le wagon même, du travail de la vapeur sur les deux pistons de la locomotive, en permettant d'éviter les erreurs dues à l'inertie des pièces de l'indicateur de Watt. Les savantes dispositions de ces divers enregistreurs ont été étudiées par MM. Gerhardt et Flaman, utilisant les combinaisons cinématiques imaginées par M. Marcel Deprez, secondés également par la science de M. Napoli et l'habileté de M. Barbey.

Nous devons à regret renoncer à donner la description de ces remarquables appareils, laquelle, par son étendue et son caractère presque exclusivement mécanique, sortirait du cadre où nous sommes obligés de nous renfermer.

(*A suivre.*)

F. RODARY.

ÉTUDES

SUR LA THÉORIE DU TÉLÉPHONE.

Suite (*).

II. *Étude du diaphragme au point de vue téléphonique.*

Rappelons avant tout, ce qu'on peut appeler la définition d'un téléphone transmetteur.

Un téléphone électro-magnétique transmetteur tel que M. G. Bell l'a réalisé après de nombreux essais, se compose essentiellement d'un diaphragme en forme de disque mince, en fer ou en acier, encastré sur ses bords, à peu de distance d'un pôle d'aimant ou d'électro-aimant entouré d'une hélice métallique.

Quand on relie les deux bouts de l'hélice à celle d'un appareil semblable, servant de *récepteur*, on reconnaît au transmetteur les caractères suivants :

1° Quand on produit des vibrations simples de l'air, dans le voisinage du disque, ces vibrations se trouvent reproduites à distance par le récepteur, avec leur *période* et une intensité beaucoup moindre ;

2° Si l'on produit simultanément plusieurs vibrations simples, formant par exemple des accords, le récepteur les reproduit aussi sans altération des intervalles ;

(*) Voir le numéro de janvier-février 1886.

3° Si les vibrations sont plus complexes, comme celle de la parole articulée, leur articulation est reproduite, et leur timbre aussi, au moins approximativement ;

4° Si l'on fait *varier d'une manière continue* la période (la hauteur) des sons, des accords ou des sons complexes correspondant à ces vibrations, le récepteur les reproduit d'une manière continue.

Cette continuité dans les effets produits est la propriété capitale et caractéristique du téléphone. Elle suppose évidemment dans le diaphragme du transmetteur, la possibilité de mouvements très complexes et susceptibles de varier d'une manière continue dans leurs éléments. C'est le premier point à étudier.

[A] *Rôle du diaphragme au point de vue élastique, relativement à la nature des mouvements qu'il effectue.*

Le diaphragme est un corps élastique susceptible de vibrer ; j'appellerai sons *particuliers* ou *propres* de ce diaphragme, ceux qu'il est capable de produire (fondamental et harmoniques) en vertu de son élasticité, de sa forme géométrique, de la nature de son support, et caractérisés par l'existence de lignes nodales déterminées.

Quand on produit dans l'air devant le diaphragme des mouvements vibratoires simples ou complexes comme ceux qui résultent de la parole articulée, il s'agit de savoir si les mouvements qui se produisent sont ceux qui correspondent aux sons particuliers du diaphragme, ou des mouvements d'une autre nature.

I. — Il est à remarquer d'abord que, dans le fonc-

tionnement ordinaire du téléphone transmetteur, le diaphragme n'est jamais mis en mouvement, comme on le fait quand on veut produire la série des harmoniques et des lignes nodales qui les caractérisent; car on ne les abandonne pas à eux-mêmes lorsqu'ils ont commencé à vibrer, on ne laisse pas un libre jeu à l'action des forces élastiques; en un mot, les mouvements qu'ils peuvent effectuer sont des mouvements *forcés*. Observation importante, car, si l'on ne peut en conclure l'impossibilité des mouvements correspondant aux sons *particuliers* du diaphragme, elle permet déjà de concevoir la possibilité de mouvements d'une autre nature.

II. — En second lieu, la *continuité* nécessaire des mouvements indiqués ci-dessus est en contradiction avec les résultats de la théorie des disques vibrants et de l'expérience.

En effet, considérons, en premier lieu, un disque vibrant *librement* : il ne peut prendre qu'une série *limitée* de déformations correspondant au son fondamental, et à ses harmoniques, et il y en a très peu : 2 dans l'octave du son fondamental, 2 dans la 2^e octave; 4 dans la 3^e; 4 dans la 4^e,... etc.

L'expérience confirme ces résultats, même pour des disques de fer, de fer-blanc, ou d'acier très minces, tels que ceux des téléphones ordinaires. Les résultats qu'on obtient en effet, en étudiant les diaphragmes dont on se sert dans la fabrication usuelle des transmetteurs téléphoniques, ne diffèrent pas de ceux que nous avons indiqués dans la première partie de ces études pour des disques minces en acier le meilleur possible et le mieux travaillé.

Ainsi : 1^o ils présentent la même hétérogénéité inté-

rieure, manifestée à l'oreille, par des battements de sons simultanés, quand on produit le son fondamental, et à l'œil, par les déformations de la nodale circulaire du 1^{er} harmonique. En voici un exemple pour fixer les idées. J'ai pris au hasard 114 diaphragmes en fer-blanc, de 0^m,10 de diamètre et de 0^{mm},6 à 0^{mm},7 d'épaisseur, servant à construire des transmetteurs d'Arsonval. Sur ce nombre, 10 p. 100 ont présenté une nodale circulaire, et donnent un son musical assez pur; 35 p. 100 ont une nodale circulaire un peu déformée; 30 p. 100 sont médiocres au point de vue acoustique : ou bien leur nodale est franchement elliptique, comme l'indique la figure 2 *a*, ou bien elle a la forme ovoïde correspondant à la figure 2 *b*; leur son est généralement médiocre. Enfin 25 p. 100 produisent généralement un son mauvais et ont des nodales encore plus déformées; soit que l'un des axes de la figure s'allonge à une extrémité; soit que la nodale prenne la forme triangulaire curviligne de la figure 2 *c*, qui n'est bien nette que lorsque les trois sommets coïncident avec les trois points d'appui en triangle équilatéral des supports sur lesquels les disques sont placés, et il est à remarquer que, dans cette position, le son du disque est généralement pur; soit que la nodale ait la forme hexagonale de la figure 2 *d*, ou enfin qu'il n'y ait pas de nodale nette, auquel cas le disque ne rend qu'un son mat ou plutôt un *bruit sonore*.

2° Des diaphragmes de ce genre qui ne sont pas travaillés avec soin, ou dont la surface est étamée ou nickelée, et dont l'épaisseur varie, par suite, généralement en chaque point, offrent d'ailleurs, cela va sans dire, la même discordance que les disques minces du meilleur acier, entre la théorie et l'expérience, en

ce qui concerne la hauteur des sons fondamentaux et des harmoniques.

3° Enfin, et c'est le point sur lequel il y a lieu d'insister actuellement, les sons particuliers de ces disques, fondamental et harmoniques, forment toujours une série *discontinue et limitée*.

Considérons maintenant des diaphragmes, non plus libres, mais encastrés sur leur contour, comme ils le sont dans les téléphones.

Dans ce cas, la théorie supposant des disques infiniment minces et un encastrement *absolu*, c'est-à-dire où tous les points encastrés sont complètement *immobiles*, indique qu'un tel encastrement fait seulement varier légèrement la hauteur du son fondamental et des premiers harmoniques qu'avait le disque non encastré; mais ils restent toujours discontinus et en nombre limité.

Voici ce que dit Wertheim à ce sujet (*Annales de physique et de chimie*, 3^e série, t. XXXI, p. 18) : « On
« ne peut vérifier cette partie de la théorie, puisqu'il
« est impossible d'encaster une plaque sur toute sa
« circonférence; cependant on peut obtenir des sons et
« des figures correspondantes qui forment la transition
« du bord libre au bord encastré, et qui s'accordent
« tout à fait avec la théorie. A cet effet, on fixe cer-
« tains points de la circonférence au moyen d'un sup-
« port à bouchons et l'on continue à ébranler par le
« centre; on obtient alors de ces figures à festons qui
« sont connues depuis Chladni, mais dont la théorie
« n'a pas encore été donnée, et en même temps, le son
« monte sensiblement tant qu'on n'a pas dépassé le
« troisième son. Les figures ne se sont bien formées
« que sur les plaques en laiton... »

En premier lieu, notons ce dernier point, car il n'est pas réalisé dans le téléphone, où l'on n'emploie jusqu'ici que des lames en fer (*) ou en acier.

En second lieu, il est à remarquer que les figures dont parle Wertheim, et qui sont des sortes de cercles festonnés, n'ont jamais été obtenus qu'en employant des moyens énergiques tels que celui qui consiste à percer au milieu de la plaque un trou dont on frotte les bords avec une mèche de crin colophanée, ce qui n'a véritablement qu'un rapport extrêmement éloigné avec le mode d'ébranlement qui consiste à parler sur le centre de la plaque.

Il paraît donc nécessaire de voir quels peuvent être les effets de l'encastrement dans les cas des plaques habituellement en usage en téléphonie, et avec un mode d'ébranlement en rapport avec celui qu'on y emploie.

A cet effet, dans un téléphone de forme particulière que j'ai fait construire pour servir à des études variées, je puis, à volonté, serrer la membrane de fer étudiée,

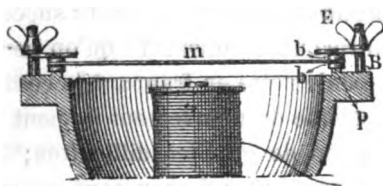


Fig. 4.

m, sur une portée bien plane circulaire, *p*, avec un anneau plat de bronze épais, à l'aide de huit écrous *E*,

(*) Wertheim n'a jamais employé dans ses expériences qu'un disque en fer doux, et il avait une grande épaisseur, 4^{mm}, 18, condition indispensable, ainsi qu'on l'a vu, pour que la théorie soit vérifiée.

placés au sommet d'un octogone, ou bien en encastrent successivement entre de petits blocs de cuir *b*, huit points de la circonférence (les autres restant libres), à l'aide de brides convenables *B* serrées par les huit écrous.

J'ai soumis à des expériences de ce genre des plaques de toutes les catégories spécifiées précédemment et j'ai observé les faits suivants :

En encastrant un point de la circonférence d'une de ces plaques, on obtient, en la frappant au centre à petits coups répétés, un mélange de sons confus, plus ou moins clairs, mais il est impossible d'obtenir une figure nodale stable quelconque.

En essayant d'entretenir électriquement le mouvement à l'aide d'un style placé au centre de la plaque, on peut obtenir, avec beaucoup de difficultés, un son continu qui s'entend à peine.

On peut étudier ainsi ce qui arrive quand on fixe successivement entre deux blocs de cuir 2, 3, 4... points de la circonférence du disque, ou quand, appliquant cette circonférence sur la portée du support et l'anneau de bronze au-dessus, on serre successivement les écrous. On reconnaît ainsi : 1° qu'on ne peut obtenir de figure nodale nette en frappant le centre ; 2° que l'entretien électrique du mouvement ne peut s'effectuer que très mal, avec de grandes difficultés ; 3° que les disques ne produisent plus de son soutenu et musical, mais bien plutôt une sorte de bruit sonore, de tonalité assez vague quand on les frappe ; 4° qu'en faisant varier graduellement le degré d'encastrement ou plutôt de serrage, on fait varier cette tonalité (fait déjà signalé dans les téléphones ordinaires). Cette variation peut être de plus d'une octave pour des disques de

10 centimètres de diamètre et de 0^{mm},7 d'épaisseur, d'une quarte pour des disques de 5 millimètres d'épaisseur, et même d'une seconde et plus pour les disques de 10 millimètres d'épaisseur.

Un disque téléphonique ainsi imparfaitement encastéré est donc, au point de vue mécanique et élastique, un système très complexe et fort peu déterminé; on ne peut guère lui supposer applicables que les résultats les plus généraux de la théorie des disques vibrants, à bords parfaitement encastérés et considérés comme *fixes*, tels que l'élévation des premiers harmoniques du disque libre. Nous venons de voir ce résultat réalisé pour le son le plus grave du disque; mais il importe beaucoup de savoir s'il existe encore une série d'harmoniques analogues à ceux du disque non encastéré.

A cet effet, imitant la méthode dont s'est servi M. Bourget pour l'étude des membranes circulaires, j'ai soumis des disques serrés dans une monture ordinaire de téléphone (par exemple de téléphone Gower) à l'action des vibrations de tuyaux d'orgue dont l'ouverture était placée au-dessous de leur centre.

Je me suis servi d'une série de vingt-six tuyaux produisant des sons croissant par intervalle de secondes majeures ou mineures; des appendices cylindriques en carton permettaient, en allongeant graduellement chacun d'eux, de passer du son de l'un à celui de l'autre sans discontinuité; j'obtenais ainsi une série continue de sons allant du *la*₄ à l'*ut*₄, c'est-à-dire dépassant de beaucoup les limites des sons de la parole articulée.

En versant du sable sur le disque maintenu horizontal, on cherche si, indépendamment des faibles mouvements inévitables communs aux disques et à la mon-

ture, il y a des sons que le disque renforce visiblement, en produisant des lignes nodales plus ou moins régulières, et qui correspondraient ainsi à ses harmoniques particuliers.

Voici les résultats obtenus avec un disque en fer très mince de 0^{mm},15 d'épaisseur : les dessins représentent les lignes nodales irrégulières obtenues pour un certain degré de serrage du disque (fig. 5);

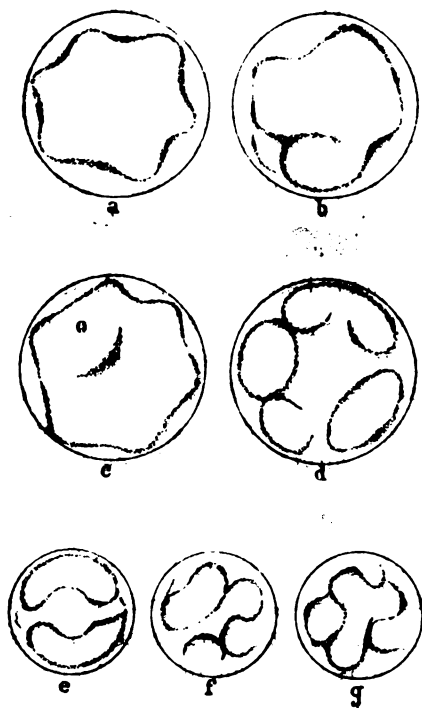


Fig. 5.

(a) correspond à l'*ut*₂; (b), aux sons compris entre *si*₁ et *ut*₁; (c), à *ut*₁; (d), à *fa*₁; (e), à *la* #; (f), à *ré* #; (g), à *fa* #.

Entre les sons indiqués, sauf *mi*, qui a produit une ébauche de ligne nodale, tous les autres n'ont rien ou à peu près rien produit de sensible.

La *discontinuité* de ce qu'on peut appeler les sons particuliers du disque est donc bien évidente.

Si l'on soumet à cette expérience des disques de plus en plus épais, on reconnaît que, toutes choses égales d'ailleurs, le nombre des sons qui produisent dans le disque des nodales sensibles diminue. A partir de 0^{mm},5 d'épaisseur, la série se réduit à un certain son et à des octaves pour lesquels le disque vibre en tous ses points; mais on peut admettre que pour ces épaisseurs le mode de mise en vibration n'est pas assez énergique, et que les séries d'harmoniques peuvent néanmoins exister en produisant des mouvements d'amplitude trop petite pour être directement visibles; mais cette circonstance ne saurait évidemment changer leur discontinuité en continuité.

En remplaçant l'action de tuyaux d'orgue par celle de la voix, en chantant des sons formant une échelle continue dans un tube dont l'extrémité est placée au-dessous du centre du disque, on obtient des résultats analogues aux précédents, mais beaucoup plus faibles.

En parlant, au lieu de chanter, les effets sont encore plus faibles.

En résumé, il paraît démontré que les mouvements correspondant aux sons particuliers de disques encastrés, comme ils le sont dans les téléphones, forment, comme ceux des disques vibrant librement, une échelle *discontinue*; dès lors ils ne suffisent point à expliquer la transmission d'une série *continue* de sons ou d'accords, et l'on est conduit ainsi d'une nouvelle

manière à admettre la *possibilité* de mouvements d'une autre espèce.

III. — Nous pouvons aller plus loin et montrer que cette *possibilité* est véritablement une *nécessité*.

En effet, prenons des disques de 2 millimètres d'épaisseur au moins et de 100 millimètres de diamètre : leur son fondamental et, par suite, leurs harmoniques, sont supérieurs à l'*ut*₄, lorsqu'ils sont encastrés. Si nous produisons devant ces diaphragmes une série continue de sons ou d'accords d'une hauteur inférieure à *ut*₄, ou bien si un homme parle devant eux en émettant ainsi des sons articulés qui sont toujours compris dans la gamme d'indice 3 au plus, il est impossible que les sons particuliers du diaphragme soient mis en jeu. Pourtant, avec des téléphones transmetteurs dont le diaphragme a 2, 3 ou 4 millimètres d'épaisseur, on entend fort bien, avec une faible intensité il est vrai, dans le récepteur, l'échelle continue de sons ou d'accords indiqués ci-dessus et la parole articulée avec son timbre. Il est donc *nécessaire* ici qu'il se produise dans le diaphragme des mouvements différents de ceux qui correspondent à la production du son fondamental et des harmoniques.

Les considérations précédentes, basées sur les lois de l'acoustique et de l'élasticité, présentent principalement un caractère théorique, bien que s'appuyant sur un certain nombre d'expériences très simples. Elles peuvent être confirmées par une seconde série de faits d'un caractère plus expérimental encore.

IV. — On peut agir sur le disque d'un téléphone, non plus directement, mais par l'intermédiaire de substances quelconques, susceptibles ou non d'émettre des sons propres, métalliques ou non, corps magnéti-

ques ou non, élastiques ou mous, fibreux ou cristallisés, homogènes ou hétérogènes, ainsi qu'on le voit dans l'énumération suivante des corps essayés : mica, verre, zinc, fer, cuivre, liège, caoutchouc, bois, papier, coton, plume, linge, cire molle.

Il suffit d'appuyer une lame de ces corps sur les bords destinés habituellement à visser le couvercle de l'instrument, emprisonnant ainsi une couche d'air plus ou moins épaisse entre le disque de fer et la plaque essayée.

On reconnaît que l'interposition de cette lame n'altère pas les propriétés téléphoniques, en particulier la reproduction du timbre, et ne fait même pas varier sensiblement l'intensité des effets, toutes choses égales d'ailleurs (*).

Pour éviter qu'on ne puisse attribuer ce résultat aux vibrations directes des parties latérales de l'instrument, on entoure le téléphone tout entier dans une épaisse couche d'ouate et on constate préalablement qu'on ne transmet rien quand on parle contre les parois, dans ces conditions.

La même précaution étant prise, en augmentant l'épaisseur de la lame interposée, on affaiblit bien en général, il est vrai, graduellement, l'intensité de l'effet produit ; mais la hauteur et le timbre de la voix ne sont nullement altérés, et ce dernier au contraire devient de plus en plus net.

J'ai observé ce fait, par exemple, avec une lame de verre de 5 millimètres d'épaisseur, une lame de cuivre de 2^{mm},5, une plaque de liège de 75 millimètres, un bloc de bois de 50 millimètres, une couche d'ouate de

(*) M. Ochrowicz avait déjà montré qu'on peut interposer une lame de caoutchouc entre la bouche et un téléphone.

20 millimètres, un livre broché de 50 millimètres, une couche d'édredon d'environ 30 centimètres entourant l'instrument de toutes part, une couche de sable de 5 centimètres.

Dans l'eau, l'effet produit est remarquable : quand l'instrument est entouré d'une couche d'eau de 2 ou 3 centimètres, il donne, quand on parle à la surface du liquide, des résultats un peu affaiblis, mais le timbre est parfaitement reproduit, et si on augmente jusqu'à 15 centimètres l'épaisseur de la couche d'eau, il n'y a pas de nouvel affaiblissement sensible.

V. — Au lieu de faire varier l'action extérieure sur les disques, on peut les mettre manifestement hors d'état de produire des sons fondamentaux et des harmoniques par le jeu de leur élasticité propre.

1° On sait, d'abord, qu'on construit de bons téléphones transmetteurs en prenant pour diaphragme une membrane quelconque sur laquelle est collé un petit morceau de fer, auquel cas il n'y a pas lieu de songer à des sons propres de ce fragment de fer : c'est même la forme primitive du transmetteur de M. G. Bell. Mais on peut agir sur les disques ordinaires : il suffit de les charger de petites masses en quelques points irrégulièrement distribués sur leur surface. On leur enlève ainsi ce qu'on peut appeler leurs propriétés *acoustiques* habituelles, mais nullement leurs qualités *téléphoniques*.

2° On peut agir sur la substance même du disque (*fig. 6*).

Pour cela, on prend deux disques aussi identiques que possible, au point de vue acoustique et téléphonique; on perce l'un d'eux comme une écumoire, de façon à enlever environ la moitié de la matière de la

plaque : celle-ci, acoustiquement, ne donne plus aucun son musical ; mais, téléphoniquement, elle donne absolument les mêmes effets que la première, seulement avec moins d'intensité ; mais il s'agit ici de la *qualité* et

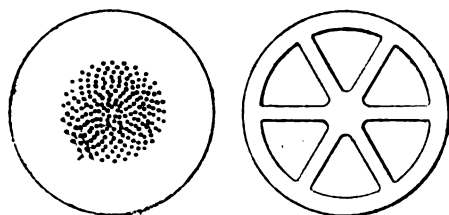


Fig. 6.

de la *nature* des phénomènes et non de leur intensité. Il faut prendre la précaution, dans cette expérience, d'encastrier avec la plaque un disque de papier fin de même diamètre, ou de recouvrir le téléphone d'une lame de caoutchouc, pour empêcher l'air mù par la voix de traverser la plaque et de produire une résonance gênante dans la boîte même de l'instrument.

La première plaque est à son tour découpée en forme de roue à 5 ou 6 rayons étroits, soutenant un disque central dont la surface est un peu supérieure à celle du pôle magnétique en présence. Dans cette état, sa masse est diminuée de moitié, et elle donne les mêmes résultats téléphoniques que lorsqu'elle était pleine.

Dans ces deux expériences, il paraît vraiment bien difficile d'admettre la possibilité de mouvements de la plaque, caractérisés par une division en sections séparées par des lignes nodales.

3° En poussant à l'extrême les expériences précédentes on est conduit naturellement à essayer un système magnétique, manquant autant que possible

d'homogénéité et de consistance au point de vue élastique ou acoustique.

A cet effet, on peut prendre une toile métallique en fil de fer. En plaçant un disque de cette toile à la place du disque ordinaire du téléphone, de façon à ce qu'il ne soit pas en contact avec le pôle de l'aimant, en encastrant avec la toile une feuille de papier, pour éviter les effets de résonnance dus à l'introduction de l'air par les mailles de la toile, on obtient des effets de même nature qu'avec un disque en fer, mais avec une intensité moindre.

Il n'est d'ailleurs pas nécessaire d'encastrier la toile métallique; il suffit de la fixer sur un support par trois points, à une petite distance du pôle de l'aimant.

On peut se servir de toiles à mailles de grandeur variable, depuis 1 millimètre carré jusqu'à 0^{mm},4 et 0^{mm},3; les toiles les plus serrées donnent les résultats les plus intenses, ce qui se conçoit fort bien, indépendamment de toute théorie, le nombre par unité de surface des éléments magnétiques susceptibles de réagir d'une manière quelconque sur l'aimant placé en face d'eux augmentant avec la finesse du tissu. Il paraît encore bien difficile de songer, avec un diaphragme magnétique de cette nature, à des mouvements transversaux d'ensemble, avec division en concamérations séparées par des lignes nodales.

Toutes les expériences qui viennent d'être indiquées ont été faites d'ailleurs avec des téléphones à champs magnétiques fort différents, savoir :

1° Un téléphone du système Bell avec aimant rectiligne, dont un pôle de forme circulaire est en face du diaphragme magnétique;

2° Un téléphone du système Gower, où le diaphragme

est attiré par deux petits pôles contraires voisins, de forme rectangulaire allongée;

3° Un téléphone du système d'Arsonval agissant par deux pôles contraires concentriques, l'un circulaire intérieur, l'autre annulaire extérieur.

Tous les trois ont donné des résultats de même nature (à l'intensité près des phénomènes, qui n'est pas en question pour le moment).

On ne peut alors s'empêcher de penser que le mécanisme en vertu duquel les diaphragmes téléphoniques exécutent leurs mouvements, est tout au moins analogue, sinon identique, à celui par lequel tous les corps solides de forme quelconque, un mur par exemple, transmettent à l'une de leurs surface tous les mouvements vibratoires, simples ou complexes, successifs ou simultanés, de période variant d'une manière continue ou discontinue, qu'on produit dans l'air en contact avec l'autre surface. Ce serait un phénomène comme ceux qu'on caractérise en acoustique par le mot de *résonance*.

Dans les diaphragmes d'épaisseur suffisante, ce genre de mouvements existerait seul; dans les diaphragmes minces, leurs mouvements d'ensemble correspondant à leurs sons *propres* et caractérisés par des formes particulières de lignes nodales, se superposeraient aux précédents, en vertu de la loi de la superposition des petits mouvements, toutes les fois que l'on émettrait des vibrations dont la période serait la même que celle de ces sons eux-mêmes : superposition peut-être plus fâcheuse qu'utile, d'ailleurs, car s'il en résulte en ce cas une augmentation d'intensité, c'est aux dépens de la reproduction du timbre, les harmoniques du diaphragme ne pouvant coïncider que par le plus grand

hasard avec ceux des sons qui mettraient en jeu le son fondamental de ce diaphragme.

Dans le premier cas, les plaques se comporteraient véritablement comme de simples *transmetteurs* de mouvements vibratoires, indépendamment de leur forme géométrique. Dans le second, elles agiraient toujours de la même manière, et de plus, à l'occasion, d'une manière en quelque sorte plus active, plus personnelle, d'après les lois de l'élasticité relatives à leur forme géométrique, plus ou moins modifiées par l'hétérogénéité de leur constitution moléculaire, et par l'indétermination et l'insuffisance de leur encastrement.

Il me semble qu'on se rendrait ainsi assez bien compte des mouvements généraux et complexes des diaphragmes téléphoniques transmetteurs, permettant la reproduction d'une échelle continue de sons successifs, et superposés en accords musicaux ou en séries, telles que celles que l'on considère dans l'explication du timbre; et, en même temps, on s'expliquerait les renforcements produits par les diaphragmes très minces, à certains points de cette échelle continue et les altérations du timbre qui les accompagnent généralement.

Le premier point de la théorie du téléphone transmetteur, savoir : la nature des mouvements du diaphragme, se trouverait par là même ramené à un phénomène connu d'acoustique ou d'élasticité.

[B] *Rôle du diaphragme au point de vue de la transformation d'énergie qui résulte de ses mouvements.*

Les mouvements du diaphragme se produisent dans un champ magnétique : il en résulte une transformation d'énergie mécanique cinétique en énergie magnétique

également cinétique, constituant le second point à étudier dans la théorie du transmetteur.

En remplaçant dans un téléphone Bell l'aimant permanent par un électro-aimant, on peut faire varier l'intensité du champ dans lequel est placé le diaphragme, et produire d'ailleurs des champs beaucoup plus intenses que ceux dont on se sert ordinairement.

En opérant de cette manière, on constate :

1° Que si le disque est simplement *fixé* sur ses bords sans être encastré complètement, en faisant varier l'intensité du champ, la hauteur du bruit produit par le choc sur le disque augmente comme si on l'encastrait de plus en plus ; mais cette variation de hauteur, même avec des champs intenses, est beaucoup plus petite que celle qui résulte de la pression sur les bords due à l'encastrement progressif. Avec des champs magnétiques ordinaires de téléphone, la variation en question est à peu près insensible.

2° Si le disque est fortement encastré, l'effet du champ est également à peu près insensible (*).

(*) Si l'on *pose* des disques sur leur ligne nodale circulaire, à peu de distance du pôle d'un téléphone, les figures nodales ne sont pas sensiblement altérées ; il en est de même de la *qualité* des sons produits par le choc et de leur *hauteur*, quand les disques sont bien plans

Quand les disques sont un peu courbes, ce qui arrive souvent quand ils sont minces, la hauteur du son varie quand on les met à une petite distance de l'aimant ; ce son s'élève quand la convexité est tournée vers le pôle ; il s'abaisse, quand c'est la concavité. Avec des champs suffisamment intenses, la variation peut atteindre un intervalle d'une seconde mineure environ ; mais la nodale n'est pas sensiblement altérée. C'est comme si, les disques ne changeant pas de diamètre, leur épaisseur augmentait légèrement dans le premier cas et diminuait dans le second. Je n'insiste pas pour le moment sur ce fait ; mais il est bon de le connaître, car il est sensible, même avec le champ magnétique d'un téléphone Gower, par exemple, et il explique en même temps la difficulté d'entretenir électriquement le mouvement de plaques courbes, la période du son de la plaque libre étant différente de celle du son de la plaque attirée par l'électro-aimant d'entretien au moment même de l'attraction.

Il résulte de cette première observation que la présence du champ magnétique dans un téléphone ne change pas les faits précédemment indiqués relatifs aux effets de l'encastrement ni la conclusion qui en a été tirée.

En second lieu, il est évident que l'essentiel, pour la production des phénomènes téléphoniques, est la présence de ce champ magnétique : l'intensité de ces phénomènes dans le récepteur en dépend directement, suivant une loi plus ou moins complexe, et c'est par suite de variations de cette intensité aux divers points du champ que s'opère la transformation qui se manifeste par la production de courants induits dans la bobine enroulée autour du pôle magnétique. Il résulte de ce qui précède que ces variations, dues aux mouvements des points du diaphragme, ne sont pas nécessairement liées à la rigidité de ce diaphragme et aux qualités acoustiques ou élastiques correspondantes à sa forme géométrique.

En songeant à la faible rigidité d'une toile métallique en fer, qui possède pourtant, ainsi que je l'ai montré, les propriétés téléphoniques; en concevant qu'on diminue graduellement cette rigidité jusqu'à arriver à une série de molécules de fer disséminées dans un champ magnétique et qui pourraient en quelque sorte être indépendantes les unes des autres, j'ai été conduit à l'idée qu'on pourrait se passer de diaphragme rigide ou non, et agir plus directement sur le champ magnétique même.

A cet effet, j'ai essayé tout d'abord, enlevant tout diaphragme, d'agir sur le pôle unique ou multiple de divers téléphones. On n'obtient alors rien de net dans un récepteur ordinaire : quelquefois on produit un effet

extrêmement faible, qui se traduit dans un téléphone récepteur par un son aigu très faible, se reproduisant quand on prononce la même consonne; mais il n'est pas possible de tenir compte d'un phénomène aussi faible et aussi confus, et il ne saurait entrer en rien en ligne de compte dans les expériences suivantes :

J'ai songé ensuite à matérialiser, pour ainsi dire, le champ magnétique avec de la limaille de fer jetée sur le pôle ou les pôles d'un téléphone. On obtient alors ce résultat remarquable : *Il suffit de quelques grains de limailles de fer dessinant dans l'espace des amorces de lignes de force sur le pôle d'un aimant de téléphone pour reproduire les sons musicaux et la parole articulée.*

Pour s'en assurer, on prend comme récepteur un téléphone ordinaire du système d'Arsonval, par exemple, et un transmetteur identique. On enlève le diaphragme en fer-blanc de ce dernier, puis on remet le couvercle portant une embouchure circulaire dont les dimensions sont à peu près égales à celles du pôle central de l'aimant.

On commence par parler sur l'aimant lui-même, à travers l'embouchure : on n'entend rien de sensible dans le récepteur.

On dévisse le couvercle, on pose une rondelle de papier mince sur l'aimant (pour éviter de remplir de limaille de fer l'intervalle entre les pôles de l'aimant de la bobine); on remet le couvercle; puis on prend une petite pincée de limaille de fer pesant environ un décigramme seulement, et on la laisse tomber à travers l'embouchure sur la rondelle de papier, où elle se dispose en forme de petites houppes dessinant des amorces de lignes de force; le papier se trouve d'ail-

leurs ainsi appliqué contre les pôles, ce qui permet de tourner le téléphone en tous sens, et même de le renverser sans que la limaille ni le papier ne bougent.

On obtient ainsi un appareil qui possède, sauf l'intensité des effets, toutes les propriétés d'un téléphone ordinaire. En particulier, si l'on parle sur la limaille à travers l'embouchure, comme on fait d'ordinaire sur le diaphragme, on entend dans le récepteur, très faiblement, il est vrai, mais avec une articulation nette, quelques mots des phrases prononcées.

Si, d'ailleurs, on veut éviter de parler directement sur la limaille, à cause des inconvénients que peut produire la vapeur d'eau exhalée par la bouche, on peut fermer l'embouchure avec une lame mince de mica, de verre ou de caoutchouc, ce qui n'altère en rien l'effet produit.

On ajoute ensuite, graduellement, de nouvelles quantités de limaille; les lignes de force se dessinent de mieux en mieux : l'effet devient de plus en plus intense. Mais en continuant à ajouter de la limaille, on arrive à un maximum d'effet, que l'addition d'une nouvelle quantité de limaille diminue nettement, circonstance intéressante sur laquelle je reviendrai plus tard.

Cet effet maximum est certainement de beaucoup inférieur, dans ces conditions, à l'effet du diaphragme en fer ordinaire, ce qui tient à ce que le nombre de molécules de fer par centimètre carré y est beaucoup moindre.

Après avoir obtenu ce premier résultat, j'ai cherché à augmenter l'intensité de l'effet produit. Pour cela, j'ai songé à ajouter à l'action mécanique *directe* des ondes aériennes sur les lignes de force en limaille, l'action de ces ondes sur un diaphragme non magné-

tique, ou du moins dont le pouvoir magnétique spécifique est extrêmement petit par rapport à celui du fer, de sorte que son effet particulier dans le champ de l'aimant est négligeable dans les conditions de l'expérience. Les mouvements propres de ce diaphragme servant de support à la limaille, devaient contribuer, sans être nuisibles dans ce cas, à augmenter les variations du champ.

C'est, en effet, ce qui s'est produit avec des diaphragmes minces tirés des substances les plus variées, savoir : carton, mica, verre, caoutchouc vulcanisé, zinc, aluminium, cuivre, etc.

Pour faire l'expérience, on découpe les disques de ces substances sous une épaisseur de deux à trois dixièmes de millimètre, en leur donnant les dimensions du diaphragme en fer du téléphone que l'on emploie, et on les dispose dans l'instrument comme on le fait de ce diaphragme même. Il suffit alors de laisser tomber de la limaille sur ces disques à travers l'embouchure du couvercle, comme on l'a indiqué tout à l'heure, et l'on obtient un téléphone transmetteur qui peut être retourné en tous sens, et dont les effets sont plus intenses que lorsque la limaille est posée sur le pôle même sans intermédiaire. On peut d'ailleurs remplacer le couvercle par une lame de mica, de verre ou de caoutchouc, qui n'altère pas les effets produits tout en protégeant la limaille et son support (*fig. 7*).

On arrive donc ainsi à construire un *téléphone à limaille de fer* L, dont les effets sont moins intenses, il est vrai, que ceux du même téléphone à diaphragme mince en fer, mais qui possède peut-être, à un degré plus élevé, les propriétés téléphoniques essentielles, et en particulier la reproduction du timbre de la pa-

role articulée; de plus il est réversible comme les autres et peut servir de récepteur, il est vrai, peu in-

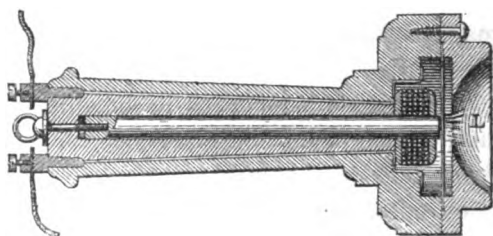


Fig. 7.

tense. Mais si l'on augmente l'intensité du champ magnétique, l'intensité des effets indiqués ci-dessus augmente notablement.

Par exemple, on prend un gros électro-aimant (tel que ceux qui servent à montrer les courants de Foucault) animé par un courant de 5 ou 6 ampères; on remplace le noyau aimanté d'un téléphone Bell par un noyau en fer doux de 4 à 5 centimètres de longueur dont on met une extrémité en contact avec l'un des pôles de l'électro-aimant : on obtient ainsi à l'autre extrémité un champ magnétique assez intense. En répétant avec le téléphone ainsi constitué les expériences ci-dessus, les effets obtenus sont plus intenses; si bien, qu'avec un diaphragme en clinquant de cuivre ou en carton et de la limaille, on peut arriver à un résultat comparable, pour l'intensité, à celui qu'on obtient avec un téléphone ordinaire muni de son diaphragme de fer.

En résumé, la construction du téléphone à limaille de fer démontre nettement ces deux points :

1° La présence dans le champ magnétique d'un téléphone transmetteur de diaphragmes magnétiques

rigides ou non, n'est nullement *indispensable* pour produire les effets téléphoniques : mais ils sont *utiles* pour en augmenter l'intensité, en présentant par unité de volume un plus grand nombre de molécules magnétiques à l'action des forces extérieures, ou bien, comme on dit souvent, en opérant une grande concentration des lignes de force du champ.

2° Il suffit, pour produire ces effets, d'exercer des déformations mécaniques directes sur les lignes de force du champ réalisées avec de la limaille de fer.

Ce résultat paraît de nature à mettre mieux en évidence la transformation d'énergie mécanique en énergie magnétique cinétique qui constitue le fond même de la théorie du téléphone transmetteur.

THÉORIE DU RÉCEPTEUR

Un téléphone électro-magnétique récepteur se compose, d'une manière générale : d'un aimant à pôles unique ou multiples, entourés d'hélices, d'un diaphragme mince en fer ou en acier, de forme quelconque, encastré sur ses bords et placé très près des pôles de l'aimant.

Lorsqu'un transmetteur quelconque, téléphonique ou microphonique, fonctionne dans le circuit du récepteur, les hélices de celui-ci sont sillonnées de courants dont la nature intime n'est pas encore bien connue, mais (et cela suffit pour l'objet que nous avons en vue), par suite de la manière même dont ces courants sont produits, par exemple quand on *parle* sur le transmetteur, il est certain qu'ils résultent de la superposition d'effets complexes et éprouvent à chaque ins-

tant des variations continues dans toutes leurs propriétés soit qualitatives, comme leur *signe*, soit quantitatives, comme leur *intensité*.

L'étude de ces courants, de leur nature propre, de leurs variations est fort difficile et fort délicate, et nous la laissons de côté pour le moment. Les effets propres du récepteur commencent à partir du moment où ces courants lui arrivent et où s'opère la transformation d'énergie électro-cinétique en énergie magnétique dans l'aimant et dans le champ magnétique qui l'entoure.

Les recherches relatives à ces effets ont été faites à deux points de vue. Au point de vue *pratique*, en vue d'augmenter le rendement des récepteurs et l'intensité de leurs mouvements. Une quantité considérable de travaux ont été effectués dans toutes les parties du monde et on travaille encore beaucoup, de toutes parts, dans cette voie. Je compte revenir bientôt sur les résultats acquis à cet égard; mais ce qui m'occupe en ce moment, c'est un second point de vue de la question des récepteurs, celui de la *théorie* de leurs effets.

Un grand nombre d'études intéressantes ont été faites aussi de toutes parts sur ce sujet, et leur bibliographie serait certainement très étendue. Du Moncel, principalement, a donné dans *La Lumière Électrique* une analyse de ces études, au fur et à mesure qu'elles étaient connues, et il a résumé les plus importantes dans les éditions successives de son livre sur le téléphone, en indiquant les noms de ceux qui les ont faites.

Je crois qu'on peut résumer les résultats ainsi acquis en vue d'éclaircir la théorie du récepteur dans les deux points suivants :

1° Toutes les parties d'un récepteur électro-magnétique : noyau, hélice, plaque, manche, etc., sont simultanément en vibration;

2° On peut employer dans les transmetteurs, des diaphragmes en fer de toutes épaisseurs, jusqu'à 15 centimètres.

Il résultait déjà du premier point, mis en lumière principalement par MM. Boudet de Paris, Laborde, A. Bréguet, Ader, du Moncel, que la présence du diaphragme n'était pas plus *indispensable* dans le transmetteur qu'elle ne l'est dans le récepteur, ainsi que je l'ai montré précédemment.

Cependant il faut bien remarquer que les effets *de beaucoup* les plus énergiques sont ceux de la plaque.

On n'a pu mettre hors de doute les vibrations du noyau et de l'hélice dans les récepteurs *ordinaires*, qu'en employant des courants transmetteurs extrêmement énergiques, et, quand on a voulu se servir de transmetteurs ordinaires, il a fallu opérer sur des récepteurs présentant des dispositions spéciales ou très simplifiées, comme l'ont fait particulièrement MM. Ader et du Moncel.

Il résultait du second point, indiqué déjà par M. G. Bell et nettement prouvé par M. A. Bréguet, qu'il y avait dans le récepteur *d'autres effets* que ceux qui pouvaient résulter des vibrations transversales correspondant au son fondamental et aux harmoniques du diaphragme.

On sait que du Moncel, appuyant une théorie sur ces deux catégories de faits, a soutenu que les effets du téléphone récepteur étaient principalement dus à des vibrations moléculaires du noyau de l'électro-aimant (analogues à celles qu'avaient étudiées Page,

de la Rive, Wertheim, Reiss...) surexcitées et renforcées par le diaphragme fonctionnant comme une armature.

Voici du reste un passage extrait de la 4^e édition (1882) de son livre sur le téléphone (p. 268), qui résume la théorie :

« Quelles que soient les conditions magnétiques du barreau, les courants induits de différente intensité qui agissent sur lui provoquent des modifications dans son état magnétique, d'où résultent des vibrations moléculaires par contraction et dilatation. Les vibrations se produisant également dans l'armature, sous l'influence des aimantations et désaimantations qui y sont déterminées par l'action magnétique du noyau, renforcent celles de ce noyau, en même temps que les modifications dans l'état magnétique du système se trouvent amplifiées par suite de la réaction des deux pièces magnétiques l'une sur l'autre. »

Il y a certainement du vrai dans cette théorie; mais elle est incomplète, en ce sens que les vibrations moléculaires du noyau du récepteur ne sont qu'un phénomène accessoire et non principal.

En tout cas, je crois qu'on peut présenter assez simplement la théorie du téléphone électro-magnétique récepteur, en se reportant aux faits qui m'ont servi de base pour la théorie du transmetteur, qui résultent d'études faites sur des téléphones *de formes ordinaires*, et qui ont été étendus à des récepteurs de même forme.

Il me suffira de les rappeler successivement en les résumant, et je n'aurai presque partout qu'à remplacer le mot *transmetteur* par le mot *récepteur*.

I. — Le récepteur est soumis constamment à des effets variables : les mouvements qui en résultent dans

le diaphragme ne peuvent être que *forcés* : ils ne peuvent pas correspondre en général aux sons *particuliers* de ce diaphragme (fondamental et harmoniques).

II. — Le diaphragme du récepteur, avec son encastrement indéterminé, ne peut, pas plus que celui du transmetteur, effectuer, en vibrant transversalement, une série *continue* de sons ou d'accords musicaux dont la hauteur varie graduellement : ses sons particuliers forment une série *limitée et discontinue*. A plus forte raison, ne peut-il, à l'aide de mouvements transversaux d'ensemble, effectuer les vibrations complexes nécessaires pour la reproduction du timbre d'une voix qui parle sur le transmetteur.

III. — Il est *nécessaire* que ce diaphragme prenne des mouvements d'un autre genre, car on peut lui donner, sans altérer ses propriétés de reproduction téléphonique des sons (intensité des effets mise à part), des épaisseurs telles (de 2 à 150 millimètres) que son fondamental et ses harmoniques soient beaucoup au-dessus de la voix humaine.

IV. — Ainsi que je l'ai indiqué pour le transmetteur, on peut interposer, entre l'oreille et le récepteur des lames d'une matière quelconque : les propriétés téléphoniques et, en particulier, la reproduction du timbre ne sont pas altérées par cette interposition.

V. — Un diaphragme fonctionne aussi bien comme récepteur que comme transmetteur, lorsqu'il est chargé de masses, même irrégulièrement distribuées ; il suffit, à la rigueur, pour en être convaincu, de songer que les diaphragmes du téléphone Gower, chargés de leur appareil d'appel, sont excellents.

Il en est de même quand on fend, perce, découpe le diaphragme.

VI. — Enfin, le téléphone transmetteur à limaille de fer, que j'ai décrit précédemment, est *réversible*, ainsi que je l'ai déjà indiqué, et peut fonctionner comme récepteur.

Il est donc bien démontré par cet ensemble de faits :

1° Que pour la réception, pas plus que pour la transmission, la rigidité du diaphragme n'est *indispensable* ;

2° Qu'il suffit, pour recevoir comme pour transmettre, de donner, en quelque sorte, un support matériel aux modifications rapides produites dans le champ magnétique du récepteur par les courants induits qui parcourent l'hélice ; on y arrive simplement avec de la limaille de fer qui se dispose suivant les lignes de force ;

3° Que le diaphragme ne sert qu'à *augmenter l'intensité* des effets ; d'abord, en concentrant les lignes de force du champ, et, en second lieu, en augmentant la masse d'air à laquelle sont transmis les mouvements résultant de la transformation d'énergie qui s'opère aux divers points du champ magnétique.

Quand le diaphragme est épais, les mouvements dont il est animé et qui se transmettent à l'air environnant et à l'oreille sont, lorsqu'il fonctionne comme transmetteur, des mouvements de *résonance* indépendants de la forme extérieure.

Quand il est très mince, les mouvements particuliers correspondant aux sons qu'il peut produire (fondamental et harmoniques), en vertu de sa forme géométrique et de sa structure en vibrant transversalement, peuvent se superposer aux précédents. En effet, il peut arriver alors que ces sons se trouvent dans les limites de hauteur où se meut ordinairement la voix humaine, de l'*ut*₂ à l'*ut*₄ ; mais alors, comme les harmoniques de la voix, pas plus que ceux des instru-

ments de musique usuels, ne peuvent coïncider avec ceux du diaphragme que par le plus grand des hasards, l'intensité des effets ne peut s'obtenir ainsi qu'aux dépens de la bonne reproduction du timbre. L'expérience ne laisse aucun doute sur l'exactitude de cette conséquence de la théorie.

Ainsi donc, en diminuant l'épaisseur du diaphragme, on perd en *qualité* ce qu'on peut gagner, pour ainsi dire, en *quantité* ou intensité. Mais, même sur ce dernier point, il y a un maximum pour le récepteur, comme je l'ai indiqué pour le transmetteur à limaille de fer. Pour un champ magnétique d'intensité donnée, il y a, toutes choses égales d'ailleurs, une épaisseur de diaphragme qui donne un effet téléphonique maximum. Ce résultat, analogue à celui qu'on trouve dans d'autres phénomènes électro-magnétiques, peut expliquer l'insuccès de beaucoup de tentatives faites, un peu au hasard, en vue d'augmenter l'intensité des effets des récepteurs téléphoniques électro-magnétiques.

J'indiquerai, dans un autre travail, d'autres conséquences de la théorie qui vient d'être exposée et quelques applications qui en résultent.

E. MERCADIER.

CABLE ÉLECTRIQUE INOXYDABLE

AVERTISSEUR AUTOMATIQUE D'INCENDIE

DE M. H. HUTINET.

On sait combien le degré de gravité d'un incendie s'accroît rapidement avec l'intervalle de temps qui s'écoule entre le moment où il commence et celui de l'arrivée des premiers secours, et combien il est important que cet intervalle soit réduit le plus possible.

Dans les théâtres et dans les grands établissements industriels, on organise des rondes de nuit dont l'accomplissement régulier est contrôlé avec soin. Mais ces rondes sont forcément assez espacées pour chacune des parties d'un vaste édifice ; il est d'ailleurs impossible de songer à les prescrire dans les maisons particulières, en raison des faibles chances d'incendie pour chacune d'elles prise isolément.

Depuis longtemps on a eu l'idée d'avoir recours à des avertisseurs automatiques donnant spontanément un signal d'alarme en cas de danger, par la fermeture d'un circuit électrique. Ce circuit est toujours formé de deux fils métalliques isolés l'un de l'autre, qui sont mis en communication par le fait même de l'incendie. Lorsqu'il existe un réseau de conducteurs destinés aux appels de service, les mêmes fils, en même temps que les piles, les sonneries électriques et le tableau indicateur,

peuvent servir à la transmission du signal d'alarme, qui se distingue des appels ordinaires par la persistance du jeu de la sonnerie.

La différence entre les divers systèmes d'avertisseurs proposés consiste uniquement dans la façon dont se ferme le circuit des deux conducteurs, au moment où se déclare l'incendie. Ces systèmes peuvent se diviser en trois catégories distinctes.

La première comprend les avertisseurs à dilatation, consistant en thermomètres à mercure ou à lames métalliques, qui, lorsque la température atteint une limite déterminée, établissent un contact par l'effet de la dilatation et ferment le circuit de la pile.

Le premier de ces avertisseurs a été installé en 1838 par Wheatstone, dans sa maison de Londres ; il a figuré à l'Exposition universelle d'électricité de 1881, dans la section rétrospective. Des appareils, reposant sur le même principe, ont été construits et posés dans un certain nombre d'établissements publics ou privés par les maisons Boisvin, Douce et C^e, Seguy, Charpentier, Mildé, etc., etc. Ils ont l'inconvénient d'exiger un réglage assez délicat, aussi leur usage ne s'est-il pas répandu.

Les avertisseurs d'incendie de la seconde catégorie sont formés de deux lames métalliques isolées l'une de l'autre et reliées chacune à un des fils conducteurs. Ces lames tendent à se mettre au contact sous l'action d'un petit contrepoids, d'un ressort, ou de leur propre élasticité ; mais elles sont maintenues séparées à l'état ordinaire par une masse pesante suspendue à l'une d'elles au moyen d'un cordon ordinaire. Si ce cordon vient à brûler, le contact des deux lames se produit et la sonnerie fonctionne.

Les appareils, de même que les avertisseurs à dilatation, ne peuvent être multipliés à l'infini, et dans une grande pièce le feu peut prendre des proportions dangereuses avant que l'appel d'alarme fonctionne.

Le troisième procédé consiste à faire marcher la sonnerie par une conjonction métallique des deux conducteurs, produite par la flamme elle-même de l'incendie. On a proposé à cet effet de former ces conducteurs de fils fins isolés et noués entre eux de 10 en 10 centimètres. Le contact des deux fils se produit par la combustion de la soie et la contraction du nœud. Ce système a l'inconvénient d'exiger des fils très fins, faciles à se rompre, et surtout de ne pas donner une sécurité suffisante.

Divers inventeurs ont essayé des fils recouverts d'alliages ou d'amalgames fusibles, mais les résultats ne paraissent pas avoir été complètement satisfaisants.

M. Charpentier a présenté à l'Exposition d'électricité de 1881 des câbles avertisseurs composés de deux conducteurs en cuivre isolés séparément, mais dont un est accompagné d'un fil d'étain. Sous l'action de la flamme l'enveloppe isolante brûle, et l'étain, en fondant, établit une communication métallique entre les deux conducteurs. Chaque câble comprend donc trois fils, ce qui accroît son diamètre, son prix de revient et les difficultés de pose.

Les câbles de M. Hutinet paraissent plus pratiques. Les conducteurs sont des fils de cuivre rouge fortement étamés ; chaque câble en comprend deux. L'un de ces fils est isolé par une enveloppe de gutta-percha ; quant au second, il est accolé au premier, contre lequel il est maintenu par un guipage de coton. Le tout est recouvert d'une seconde enveloppe de gutta-percha, puis

d'un guipage de coton ou de soie dont on fait varier la couleur suivant celle de l'ameublement des pièces où il doit être posé. Lorsque ce câble est exposé à une flamme, les enveloppes de coton et de gutta-percha brûlent, et l'étain, en coulant, produit entre les deux conducteurs des soudures multiples qui établissent une communication aussi parfaite que possible et font marcher la sonnerie d'alarme.

Les nombreuses expériences qui ont été faites sur ces fils ont toujours réussi; il suffit d'une exposition à la flamme de 15 à 18 secondes pour déterminer le contact métallique des deux conducteurs.

Ajoutons que l'étain qui recouvre les fils de cuivre les préserve de l'oxydation et assure leur conservation dans les humides.

Quant au prix de revient des câbles de M. Hutinet, il est moins élevé que celui des doubles fils, habituellement employés (0',15 à 0',20 par mètre courant de câble posé).

Ces câbles, dont le diamètre ne dépasse pas 2 à 3 millimètres, peuvent se dissimuler facilement dans les tapisseries, les tentures, les rideaux, derrière les cadres de tableaux; on peut leur faire contourner les rayons des bibliothèques et des magasins, etc. Pour rendre facile le déplacement des meubles auxquels les fils sont fixés, il suffit de les faire aboutir à de petites bornes fixes auxquelles on attache les conducteurs de réseau général.

La vérification du bon état des fils se fait d'elle-même lorsqu'ils servent aux appels ordinaires de service. S'ils sont posés spécialement comme avertisseurs d'incendie, il suffit de les réunir à leur extrémité au moyen d'un bouton d'appel sur lequel on n'a qu'à

appuyer le doigt pour être assuré, par le jeu de la sonnerie, que tout le circuit est continu.

Rien n'empêche, d'ailleurs, d'ajouter à ces fils les thermomètres avertisseurs dont il a été question plus haut, si l'on veut augmenter les précautions.

C'est aux ingénieurs ou architectes chargés des installations qu'il appartient de fixer dans chaque cas particulier le trajet des fils, le modèle de sonneries ou des piles, leur position, ainsi que celle des tableaux indicateurs, lorsqu'il y a lieu d'en faire usage.

B.

CHRONIQUE.

Note sur un instrument servant à reproduire à volonté une quantité invariable d'électricité.

Par M. MARCEL DEPREZ.

L'instrument que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie a pour but de permettre de reproduire facilement, en tout temps et dans n'importe quelles conditions de température ou de pression, l'unité de quantité d'électricité qui a reçu le nom de *coulomb*.

Il se compose d'un tube en U, dont les deux branches sont fermées à la lampe et terminées par des boules en verre dont le volume est beaucoup plus considérable que celui des parties cylindriques. L'une des boules, ainsi que la branche qui lui correspond, est complètement remplie d'eau acidulée avec de l'acide phosphorique; la seconde branche contient également un peu de ce liquide à la partie inférieure; mais, dans la plus grande partie de sa longueur, elle est remplie d'air à une pression déterminée, ainsi que la boule qui la termine. La branche remplie de liquide porte quatre fils en platine situés en regard l'un de l'autre deux à deux, deux à la partie supérieure de la boule et deux autres dans la partie cylindrique, un peu au-dessous du point le plus bas de la boule. Si dans ces deux derniers on lance un courant électrique, l'eau est décomposée et le mélange tonnant résultant de cette décomposition s'accumule dans la boule supérieure, pendant que le liquide refoulé dans la seconde branche remonte dans celle-ci en comprimant l'air dans la seconde boule. Si l'on a eu soin de noter le point de départ de la colonne liquide dans la seconde branche qui est divisée en parties d'égale capacité,

ainsi que le point où elle s'arrête quand on supprime le courant, on a tous les éléments nécessaires pour connaître la quantité d'électricité dépensée pour engendrer le mélange tonnant; et il est facile de voir que, si le volume de ce mélange, mesuré par l'ascension du liquide dans la seconde branche, est toujours le même, la quantité d'électricité nécessaire pour le produire sera également invariable, et cela quelle que soit la température de l'instrument, pourvu qu'elle soit la même dans les deux branches, condition facile à réaliser. Quant à la pression barométrique et à l'état hygrométrique de l'air, ils n'ont évidemment aucune influence sur les résultats, puisque le tube est scellé à la lampe. Enfin, le liquide employé étant toujours le même, on voit que cet instrument permet de reproduire, comme je le disais, chaque fois que l'on veut, une quantité de gaz correspondant à une quantité invariable d'électricité prise pour étalon, toute l'opération se bornant à la lecture d'un volume, toujours le même, sans qu'il y ait *aucune correction à faire*, tandis que, avec le voltamètre ordinaire, les corrections relatives à la température, à la pression et à la tension de la vapeur sont loin d'être négligeables.

Pour que l'instrument puisse servir indéfiniment, il faut pouvoir reformer l'eau décomposée à chaque opération; c'est à cela que servent les fils de platine situés à la partie supérieure de la boule où s'accumule le mélange tonnant. Il suffit de faire passer une étincelle entre ces fils pour provoquer la combustion du mélange tonnant : l'eau acidulée vient alors remplir de nouveau la boule, et l'instrument est prêt pour une nouvelle opération. On peut donner à l'appareil une sensibilité plus ou moins grande en remplissant la seconde branche avant de la sceller avec de l'air dont la pression peut être inférieure ou supérieure à celle de l'atmosphère. Quant à l'emploi de cet appareil pour la graduation des instruments destinés aux mesures électriques, je pense qu'il est inutile d'entrer dans des détails à cet égard.

Cet instrument a été soumis à de nombreuses expériences dans lesquelles on a comparé ses indications à celles du voltamètre ordinaire, soumises à toutes les corrections que comportent la température, la pression atmosphérique, etc. Ces

expériences, faites avec un grand soin par M. Minet, l'un des ingénieurs attachés aux expériences de Creil, a montré que l'on peut avoir pleine confiance dans les indications du nouvel appareil.

(Comptes rendus.)

Électromètre absolu sphérique.

Par M. LIPPMANN.

Cet instrument se compose essentiellement d'une sphère métallique isolée, que l'on porte au potentiel V que l'on désire connaître. Cette sphère se trouve partagée, par construction, en deux hémisphères mobiles l'un par rapport à l'autre, et qui se repoussent avec une force égale à f , lorsque leur système est électrisé.

Or on a entre f et V la relation simple et facile à démontrer

$$f = \frac{1}{8} V^2.$$

Pour avoir V , il suffit donc de mesurer f . Cette mesure pourrait être effectuée par divers procédés; je me suis arrêté au suivant :

D'abord, si l'appareil destiné à mesurer f était extérieur à la sphère métallique, on serait obligé de le mettre assez loin pour que son voisinage n'exercât pas d'action perturbatrice sensible sur la distribution électrique. J'ai donc préféré le mettre tout entier à l'intérieur même de la sphère électrisée, qui est creuse.

L'un des hémisphères est fixe; l'autre, mobile, est suspendu par un système *trifilaire*, c'est-à-dire composé de trois fils verticaux d'égale longueur. Lorsque la répulsion se produit, l'hémisphère mobile ne peut que se déplacer parallèlement à lui-même, les trois fils de la suspension faisant alors un petit angle α avec leur première position verticale. On mesure α par la méthode de la réflexion, à l'aide d'un miroir collé à deux des fils, et visible à travers une petite ouverture (*). On

(*) L'appareil a été construit par la maison Bréguet.

voit qu'en appelant p le poids de l'hémisphère mobile, on a

$$f = p \tan \alpha$$

et, par conséquent,

$$p \tan \alpha = \frac{1}{8} V^2.$$

Il suffit donc de connaître le poids p , qui est invariable; quant au rayon de la sphère, on voit que sa valeur est indifférente.

Dans un second exemplaire du même instrument, que j'ai l'honneur de mettre sous les yeux de l'Académie, le système des deux hémisphères est contenu à l'intérieur d'une enveloppe sphérique concentrique en cuivre que l'on met en communication avec la terre. Ce dispositif augmente la sensibilité de l'instrument et le met à l'abri des courants d'air, ainsi que des perturbations électriques extérieures.

Si l'on appelle a et b les rayons des deux sphères concentriques, on a la formule

$$f = \frac{1}{8} \frac{b^2}{(b-a)^2} V^2.$$

Ici l'on a

$$a = 3^{\text{cm}}, 9, \quad b = 4^{\text{cm}}, 92, \quad p = 3^{\text{r}}, 322.$$

Il s'ensuit que, si l'on place une échelle divisée en millimètres à 1 mètre de la règle, on a, pour valeur de la déviation,

$$d = 0,00373 V^2.$$

Si l'on exprime V en volts, on a

$$d = 0,0000140 V^2.$$

Il est avantageux de multiplier optiquement la sensibilité de l'instrument en lisant les déviations à l'aide d'un oculaire de microscope grossissant de 15 à 50 fois, comme l'a proposé M. d'Arsonval. On diminue alors dans le même rapport la déformation, d'ailleurs très petite, que subit le système des deux hémisphères par suite de la déviation.

(Comptes rendus.)

Altération de la résistance électrique des fils métalliques, produite par enroulement et déroulement.

(Résumé d'un Mémoire de M. James Hopps.)

L'auteur, ayant eu à faire une bobine de résistance, a été frappé par la différence de résistance que présentait le fil avant et après son enroulement; cette différence ne paraissait être ni constante ni proportionnelle à la longueur du fil employé et semblait dépendre de la tension avec laquelle le fil avait été enroulé *sur la poulie*. Certaines bobines accusaient, après l'enroulement, des changements de résistance très considérables; de même, lorsqu'on les déroulait et qu'on les enroulait ensuite avec une moindre tension. Le diamètre de la bobine paraissait aussi avoir une grande influence sur la production de ces changements de résistance. Une grande partie de ces changements paraissaient être temporaires.

Les différences, comme on l'a déjà fait remarquer, n'étaient pas constantes; elles n'étaient même pas toujours du même signe: tantôt on observait une augmentation de résistance, tantôt une diminution.

Des renseignements que l'auteur avait recueillis au sujet du phénomène en question, il résultait que des faits analogues avaient été observés par M. Silvanus Thompson et M. Latimer Clark; mais, le phénomène n'ayant pas été étudié, l'auteur a entrepris une série d'expériences.

Les fils sont enroulés sur un tambour en ébonite; ils sont logés dans les creux d'une hélice tracée sur ce dernier. Ce tambour est fixé au sommet d'un plan incliné sur lequel se meut un chariot. L'une des extrémités du fil soumis à l'essai est fixée au chariot qui sert à tendre le fil. En faisant varier la charge du chariot ou l'angle du plan incliné, on peut faire varier la tension du fil.

A l'aide d'un treuil placé au-dessous du tambour, on peut faire tourner le tambour. En le faisant tourner dans un sens, le fil s'enroule et en même temps le chariot est amené au sommet du plan. En déroulant le treuil, le chariot descend

le plan incliné et déroule le fil. Le fil métallique soumis à l'essai forme l'une des branches d'un pont de Wheatstone; on mesure sa résistance d'abord lorsqu'il est enroulé, ensuite quand il est déroulé. Ces opérations sont répétées plusieurs fois : chacune dure environ six minutes.

Le plan était très peu incliné, de manière à éviter toute déformation qu'aurait pu produire la traction.

Pendant toute la durée des expériences, la température du laboratoire était restée invariable à 0°,5 près. Les fils de plomb présentent une propriété remarquable. Ordinairement l'enroulement produit une diminution de résistance et le déroulement en produit une augmentation; mais, si l'on soumet le même fil à un certain nombre d'enroulements et de déroulements successifs, on constate qu'à partir d'un certain nombre de séries d'opérations l'enroulement et le déroulement provoquent tous les deux un accroissement de résistance. On observe encore une tendance très remarquable à reprendre la résistance primitive.

Il est à remarquer qu'en général, quelle que soit la nature du fil, l'enroulement produit un moindre effet que le déroulement. Les effets produits par ces deux opérations sont en général de signe contraire; quelquefois on remarque un renversement des signes.

Une augmentation de résistance par déroulement et une diminution par enroulement s'observent avec des fils de plomb, de cuivre, de maillechort, d'aluminium et de magnésium; de même, avec des fils de fer doux, pendant les premières opérations, après lesquelles les signes changent complètement.

Une augmentation de résistance est constatée d'une manière presque invariable avec les fils de zinc après un enroulement, de même qu'après un déroulement; seulement l'effet produit par l'enroulement varie de $1/2$ à $1/30$ de celui du déroulement.

La différence entre les deux effets de l'enroulement et du déroulement ou, si l'on veut, l'amplitude des variations de résistance, est la plus grande dans le cas du magnésium et la plus petite avec l'aluminium.

L'amplitude des différences, dans le cas du maillechort

écroui, n'est pas grande après plusieurs séries d'opérations. Cependant, s'il est recuit, on constate de grands accroissements de résistance après chaque repos du fil ; mais les résultats des dernières séries d'expériences s'approchent de ceux du fil écroui, ce qui prouve que le fil s'écrouit par les enroulements et déroulements successifs.

L'auteur avait mesuré avec beaucoup de soin la longueur des fils avant et après les expériences ; il a tenu compte de ces variations de longueur et de section.

Après avoir fait ces corrections, il restait encore des changements inexplicables de résistance, qu'on a résumés dans le tableau suivant :

MÉTAUX	En centièmes de la résistance initiale.	En centièmes de la variation de résistance.
Fer.	2,3	81,64
Plomb.	1,27	2,91
Cuivre.	1,18 -1,42	57,58-60,7
Zinc.	1,23 -2,16	23,6 -42,4
Aluminium	0,77 -2,206	41,15-72,01
Maillechort (recuit).	0,054-0,171	11,89-21,6
Magnésium n° 2.	1,549	»

Si l'on considère les résultats obtenus avec le maillechort recuit, qui ont une importance spéciale, les bobines de résistance étant faites avec ce métal, on trouve que l'augmentation totale est de 0,454 p. 100 de la résistance initiale, il faut en déduire 0,4 p. 100 provenant de l'accroissement de longueur et de la diminution de section ; il ne reste que 0,054 p. 100 de la résistance initiale, ou 11,54 p. 100 de la variation de résistance observée comme effet dû aux enroulements et déroulements successifs.

Les résultats sont très curieux lorsque le fil de maillechort est écroui. Par l'écrouissage la longueur du fil diminue, et, si l'on fait la correction de la longueur, on trouve que la résistance devrait accuser une diminution de 0,284 p. 100 ; mais la diminution observée n'a été que de 0,036 p. 100, au lieu de 0,248 p. 100, c'est-à-dire moins que ne l'indique la correction.

L'auteur cite des données qui lui ont été fournies par une

fabrique de câbles de Milan, d'après lesquelles la conductibilité spécifique des conducteurs de cuivre diminue dans certains cas de 1 1/2 p. 100 pendant la fabrication. Si ces conducteurs sont mis dans des tubes de plomb, leur résistance diminue quelquefois de 2 p. 100. Ces variations sont en grande partie permanentes.

L'auteur veut expliquer ces variations de résistance par une déformation due à un effet de torsion.

Les différentes manipulations auxquelles les fils sont soumis pendant la fabrication auraient laissé dans le fil une certaine torsion résiduelle et, lorsqu'on les enroule sur les bobines, ce résidu augmente ou diminue, donnant ainsi une variation de résistance.

(Journal de physique.)

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1886

Mai - Juin

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ AUX CHEMINS DE FER.

(Suite et fin.)

CHAPITRE V.

APPAREILS DE CORRESPONDANCE.

Ces appareils servent à établir, de poste à poste, des communications plus rapides et plus simples que par le télégraphe proprement dit, et par suite plus à la portée des agents de toute catégorie appelés à s'en servir. Ce sont parfois de simples sonneries ou cloches, dont le nombre des coups passés a une signification conventionnelle ; mais généralement on emploie des dispositifs plus perfectionnés.

Appareil Guggemos.

Cet appareil, employé au chemin de fer du Nord, est une modification et une adaptation à la correspondance

des postes, de l'ancien télégraphe d'Arlincourt, remarquable par la rapidité de son fonctionnement. Il est à la fois **transmetteur et récepteur**.

Il se compose (*fig. 48*) d'un cadran parcouru par

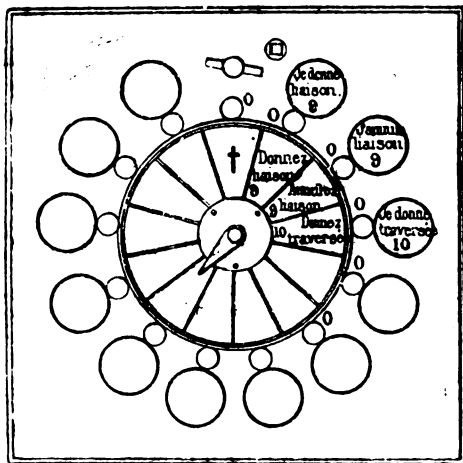


Fig. 48. — Appareil Guggemos.

une aiguille, et portant les indications à transmettre et à recevoir sur des macarons disposés circulairement : on regard de ceux-ci se trouvent en outre des boutons poussoirs.

Le mécanisme (*fig. 49*) comprend un mouvement d'horlogerie A, un clavier B, un interrupteur GI et un électro-aimant E commandant un échappement à dé-clic D.

Le courant de pile arrive par la borne C à la masse de l'appareil, et, lorsque l'interrupteur le lui permet, passe dans la couronne isolée H ; puis, lorsque, par l'un des boutons O, on appuie sur la touche correspondante *b*, il continue son circuit par celle-ci, venue au

contact de la couronne H. Alors il se bifurque et va, d'une part, actionner l'électro-aimant E, et, d'autre part, gagner le fil de ligne par la borne L. Des

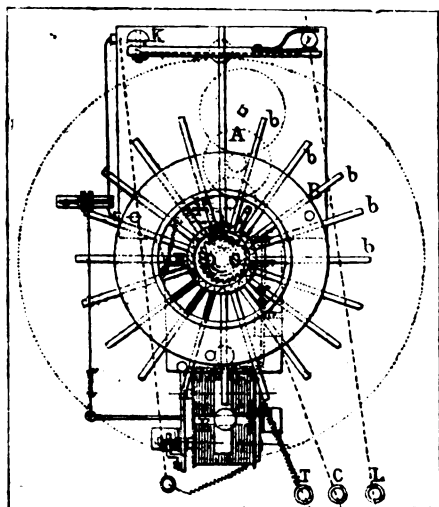


Fig. 49.

effets identiques se produisent donc simultanément aux deux appareils correspondants, transmetteur et récepteur, et ces effets sont les suivants :

Le jeu combiné de l'interrupteur GI et de l'échappement D, commandé par l'électro-aimant E, aura pour résultat de laisser avancer l'aiguille entraînée par le mouvement d'horlogerie, jusqu'à ce que l'arrêt *g* soit venu buter contre la touche *b* soulevée. A cet instant, tout mouvement sera arrêté, et l'aiguille indicatrice se fixera en regard de l'inscription transmise.

Un bouton spécial K permet d'envoyer un courant dans l'appareil transmetteur, tout en l'isolant de la

ligne, c'est-à-dire de rappeler l'aiguille à la croix, sans actionner le récepteur correspondant.

Appareil à guichets.

Par raison de rapidité et de simplicité dans la correspondance, la compagnie du Nord emploie de préférence à l'appareil Guggemos, pour des distances inférieures à 400 mètres, un appareil à guichets analogue aux tableaux d'appel placés dans les antichambres.

C'est la même disposition extérieure, et chaque voyant qui apparaît présente au guichet correspondant l'ordre transmis, tandis qu'une sonnerie d'avertissement se fait entendre. Le voyant disparaît dès que l'on appuie sur un bouton placé au bas du tableau. L'appareil est à la fois transmetteur et récepteur.

Chaque voyant est simplement collé à l'extrémité d'un petit barreau aimanté, et qui, mobile entre deux bobines d'électro-aimant, vient se fixer à l'une ou à l'autre, suivant le sens du courant qui les parcourt. Le courant de ligne, l'appelant d'un côté, fait apparaître l'inscription; le courant local de sens contraire, obtenu par pression sur le bouton inférieur, la fait disparaître.

Ce qui, au point de vue économique, limite l'emploi de cet appareil, c'est qu'il exige autant de fils de ligne que de voyants.

Indicateur Jousselin.

L'appareil de correspondance en usage au chemin de fer P.-L.-M. est l'indicateur Jousselin, lequel a été du reste réglementairement adjoint aux appareils de block-system de la compagnie. Il n'est que récepteur, le

transmetteur consistant en un simple commutateur à manette, qui actionne un compteur numéroté pour enregistrer le nombre des émissions de courant.

L'indicateur consiste en un cadran parcouru par une aiguille, et portant une série de numéros et des indications inscrites sur des macarons disposés circulairement.

L'aiguille est entraînée par la grande roue Q (fig. 50) qui se trouve engrenée avec le pignon P et reliée à la

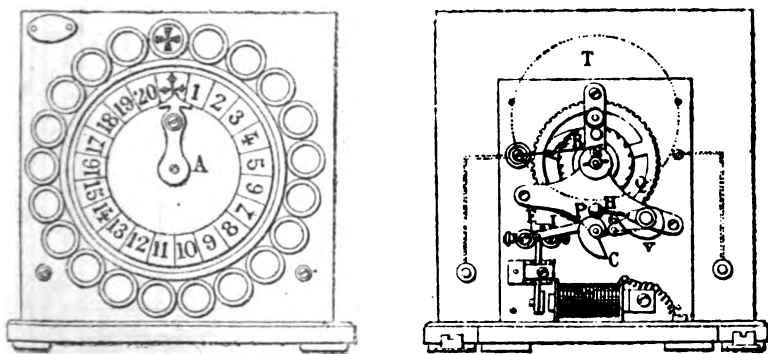


Fig. 50. — Indicateur Jouselin.

roue à rochets R, sollicitée elle-même par un ressort barillet. Le mouvement d'horlogerie est libéré à chaque passage de courant dans l'électro-aimant E, par le déclenchement à fourchette F. Pendant que le doigt I et le pignon P opèrent une révolution, d'une part, la roue Q et l'aiguille indicatrice avancent d'une division, d'autre part, la came C fait frapper sur le timbre T un coup du marteau H, rappelé par le ressort V. Le signal optique est ainsi accompagné d'un signal acoustique. On remonte le mouvement simplement en ramenant l'aiguille à la croix avec la main.

Appareil Leduc.

Si maintenant nous passons aux chemins de fer étrangers, nous trouvons en usage sur les lignes de l'État belge l'appareil Leduc. Il n'est que récepteur, et son manipulateur est une simple clef Morse.

Il se compose (*fig. 51*) d'une tige à crémaillère A,

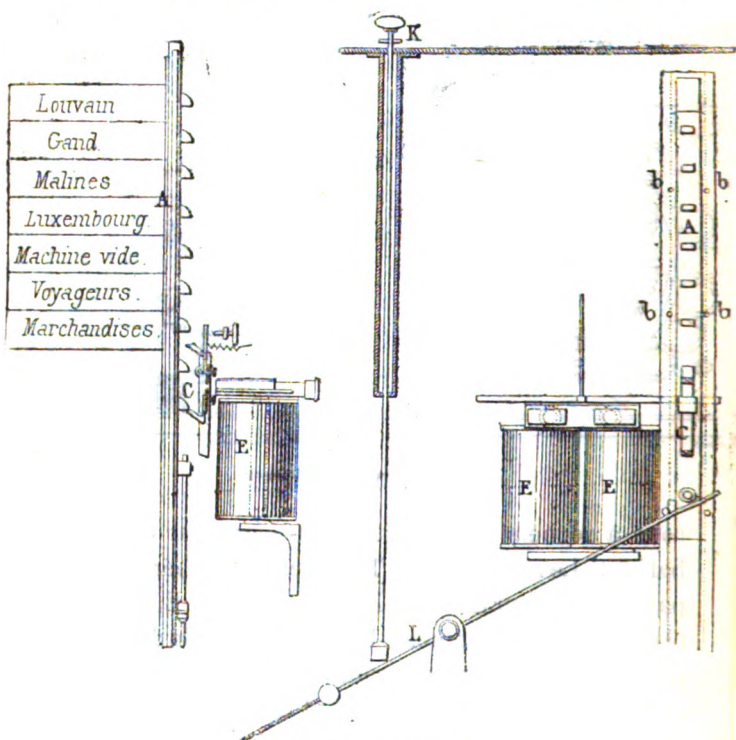


Fig. 51. — Appareil Leduc.

guidée par les galets *b*, et portant sur une plaque métallique les inscriptions utiles. Elle tend à descendre par son propre poids de la longueur d'une dent, chaque fois

qu'un courant, arrivant à l'électro-aimant E, actionne l'ancre d'échappement C.

Pour faire paraître au guichet l'indication voulue, il suffit de presser le manipulateur Morse un nombre de fois correspondant au numéro d'ordre de cette inscription. Le signal une fois reçu, pour ramener l'appareil à son état initial, il faut appuyer sur le bouton K, qui relève la crémaillère A par l'intermédiaire du levier L.

Appareil Walker.

Cet appareil (*fig. 52*), employé surtout en Angleterre

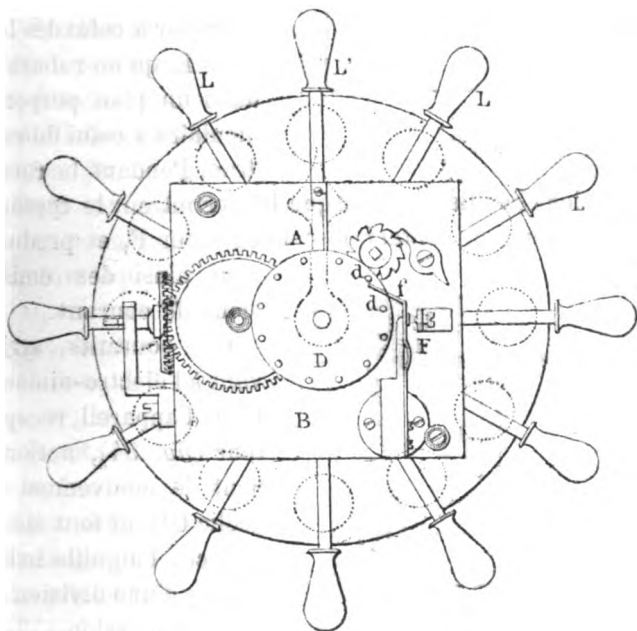


Fig. 52. — Appareil Walker.

se compose d'un cadran pouvant être parcouru par une

aiguille indicatrice A, susceptible de s'arrêter en face d'une inscription donnée. Son mécanisme intérieur diffère, suivant qu'il joue le rôle de manipulateur ou de récepteur.

Dans le manipulateur (*fig. 52 et 53*), l'aiguille A tend

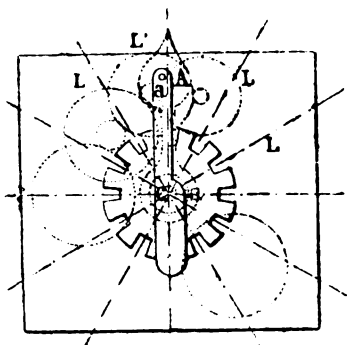


Fig. 53.

naturellement à être entraînée par un mouvement d'horlogerie renfermé dans la boîte B; mais elle est solidaire du levier C, dont l'extrémité *a*, terminée par un butoir, viendra s'arrêter à celui des leviers L, qu'on rabattra dans un plan perpendiculaire à celui du cadran. Pendant la rotation, les chevilles *d* du disque D rencontrent le ressort *f*, amènent au contact le commutateur F, et produisent ainsi des émissions de courant.

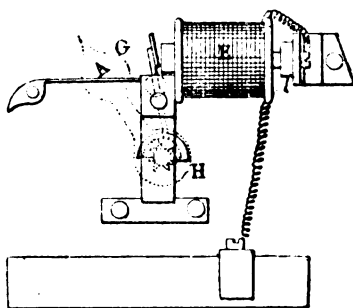


Fig. 54.

Ces courants, arrivant à l'électro-aimant E de l'appareil récepteur (*fig. 54*), actionnent le mouvement à déclic GH, et font ainsi avancer l'aiguille indicatrice d'une division à chaque émission.

Les deux aiguilles correspondantes du manipulateur et du récepteur avancent donc simultanément, et sont

ramenées à la croix quand on rabat le levier vertical L' du manipulateur.

Intercommunication électrique des trains.

L'intercommunication électrique des trains a pour but de permettre aux conducteurs de tête et de queue de communiquer entre eux au moyen de sonneries, et de recevoir les appels des voyageurs en cas de danger.

Le premier système, qui est de M. Prudhomme, n'a guère été jusqu'à présent modifié que dans les détails. Il est analogue à l'installation des sonneries d'appartement.

Supposons (*fig. 55*) une pile P et une sonnerie S dans le circuit AB , sur lequel se branchent les fils $a, a' \dots, a'', b, b' \dots, b''$ qui se rapprochent à chaque compartiment dans des commutateurs $c, c' \dots c''$, susceptibles de fermer le circuit; un appel de la sonnerie se fera entendre chaque fois que l'on actionnera l'un des commutateurs.

La pile et la sonnerie sont installées dans une boîte : deux de celles-ci sont accrochées avec des tasseaux de contact respective-

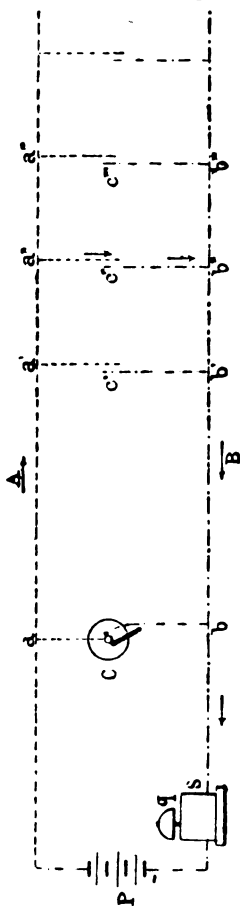


Fig. 55. — Schema de l'intercommunication électrique des trains.

ment dans les fourgons extrêmes de chaque train, de façon que les conducteurs de tête et de queue puissent communiquer entre eux.

Les commutateurs sont de formes très variables.

Ce sont, suivant les compagnies, soit de simples boutons d'appartement, soit des commutateurs à manette ou à tirant, avec ou sans voyant extérieur, ce dernier étant destiné à indiquer le compartiment d'où est parti le signal.

La principale difficulté consistait dans le mode de jonction des voitures, pour assurer la continuité du circuit. Quelquefois celles-ci portent deux fils de ligne, l'un partant du pôle positif de la pile, l'autre du pôle négatif; mais, plus généralement, le fil négatif est remplacé par le rail avec lequel communiquent les branchements bb' b'' par le châssis en fer, les ressorts, les plaques de garde et les roues des voitures.

Quant au fil positif, dans les voitures de la compagnie du Nord et de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée,

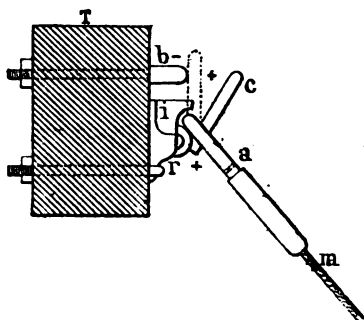


Fig. 56.

il se termine aux traverses extrêmes par un câble m (fig. 56) avec anneau métallique a que l'on engage, lors de l'accouplement, dans un crochet de bronze c fixé sur la voiture suivante, comme l'indique la fig. 56, ce qui assure la continuité du cir-

cuit. Ce système constitue même un avertisseur automatique en cas de rupture d'attelage; car, si deux

voitures se séparent, l'anneau *a* saute du crochet *c*; celui-ci appelé par un ressort barillet vient au contact du bouton *b* faisant partie du conducteur négatif, et ferme ainsi le courant, ce qui actionne la sonnerie.

Ce mode d'attache a du reste été modifié par différentes compagnies, sans introduction toutefois de changement essentiel dans l'ensemble du système.

En Allemagne cependant, on a essayé de supprimer les piles, et d'établir sur chaque voiture un inducteur destiné à actionner la sonnerie, chaque fois qu'on le met en mouvement de l'intérieur des compartiments en tirant sur une corde.

Appareils d'enclenchement des postes de manœuvre.

Ces appareils ont pour but, non seulement de permettre l'échange de correspondances de poste à poste, mais encore de transmettre la faculté ou l'interdiction matérielle et mécanique de certaines manœuvres. Par exemple, lorsqu'un train veut faire une traversée de voies, par cela même qu'ils autorisent ce mouvement, ils ferment toutes les autres issues donnant accès sur le chemin à parcourir par le train autorisé.

Ce résultat est ordinairement obtenu par des enclenchements mécaniques entre les leviers juxtaposés qui manœuvrent les aiguilles et les signaux dans un certain périmètre. Les organes électriques interviennent seulement, lorsque l'on veut commander à distance la manœuvre de ces leviers, comme dans la méthode d'exploitation allemande, par exemple, qui concentre entre les mains du seul chef de station la direction de toutes les manœuvres de sa gare.

Dispositions de MM. Siemens et Halske. — MM. Siemens et Halske ont appliqué le principe de leur appareil électrique décrit à propos du block-system, à la commande à distance par le chef de gare, des manœuvres des postes d'aiguilleurs. A l'état normal, tous les signaux de ces postes sont enclenchés à l'arrêt, et le chef de gare seul peut donner à la fois l'ordre et la faculté matérielle de mettre certains d'entre eux au passage. A cet effet, il a sous la main une série de boîtes analogues (sauf les tambours R, qui sont supprimés) à celle qui est représentée extérieurement (*fig. 12*, page 29) et intérieurement (*fig. 13*, page 30), lesquelles sont en communication électrique avec des boîtes semblables, placées à la partie supérieure des appareils d'enclenchement des postes d'aiguilleurs. D'après le jeu de l'appareil précédemment décrit, en appuyant sur un bouton K, en même temps qu'il tourne la manivelle *h* de l'inducteur, le chef de gare peut dégager, au poste d'aiguilleurs correspondant, une tige P qui, engagée dans une encoche ou trou d'une pièce métallique, immobilisait tout un système de leviers de manœuvre; le fonctionnement de ceux-ci est donc autorisé par le chef de gare, mais sous la garantie, bien entendu, de certaines connexions mécaniques qui les relient les uns aux autres, pour assurer la succession rationnelle de leurs manœuvres. Une fois que le chef de gare a passé un ordre, il ne peut plus en envoyer un second contradictoire; car, grâce à la disposition de plaques glissières analogues à celle qui est représentée *fig. 57*, les boutons K de son appareil, ceux du moins qui autoriseraient des manœuvres dangereuses par leur simultanéité, sont immobilisés. On voit, par exemple, sur la *fig. 57* que,

tant que la tige 1 est maintenue abaissée au fond de la glissière déplacée alors vers la droite, le bouton 2 reste libre, mais les boutons 3, 4 et 5 sont immobilisés. Ils ne sont libérés qu'au moment où l'aiguilleur,

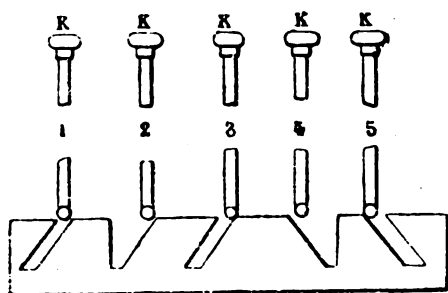


Fig 57

ayant terminé la manœuvre commandée, renvoie à son chef un courant d'induction qui doit, en déclenchant son appareil et son bouton K1, annoncer par le changement de couleur d'un voyant F, que tout, dans le poste, est remis en l'état primitif.

Appareil des chemins de fer de l'Alsace-Lorraine. — Un appareil différent, installé à la gare de Strasbourg, réalise un but analogue (*fig. 58*). Les leviers de manœuvre A sont habituellement enclenchés par la pièce *l*, qui pénètre dans l'encoche *a*, et est prise à l'une de ses extrémités par un crochet *b* faisant partie de l'armature B de l'électro-aimant E. Mais lorsque le poste central envoie un courant qui libère le levier *l*, celui-ci se relève par l'effet d'un contrepoids P muni d'un voyant mobile devant le guichet F, et le levier A peut être manœuvré. Dans la course en arrière de ce levier, la crémaillère C fait tourner le pignon D, et par suite l'inducteur I, dont le courant amène au guichet cor-

respondant du poste central un voyant blanc indiquant que le levier est rabattu.

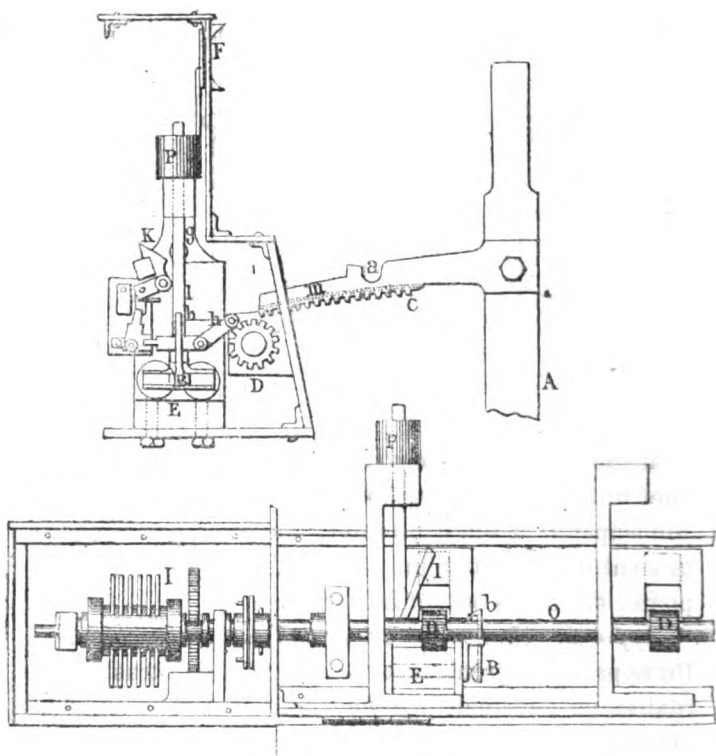


Fig. 58. — Appareil d'enclenchement des chemins de fer d'Alsace-Lorraine.

Lorsqu'on ramène en avant le levier A, l'effet inverse fait apparaître le voyant rouge, et une saillie *m* portée par la crémaillère, en appuyant sur un levier coudé *h*, transmet son action à une came K qui remet tout le système dans son état initial, en soulevant le galet *g*.

Appareil de la direction de Francfort-sur-le-Mein.

— Il réalise le même objet que l'appareil précédent

par un principe tout à fait analogue. Il n'y a entre eux que quelques différences de transmissions mécaniques peu importantes, sur lesquelles nous n'insisterons pas.

.

Ici se termine notre étude sur les applications de l'électricité aux chemins de fer. Quelque condensée et incomplète qu'elle soit, elle pourra toutefois, nous l'espérons, donner une idée de l'importance des services rendus par la science électrique aux voies ferrées, de la variété de ses emplois, de la fécondité des inventeurs dans ce genre d'applications, enfin de la sollicitude et du zèle déployés par les compagnies de chemins de fer pour s'assurer toutes les ressources de cette science. Ces compagnies ont aujourd'hui des ingénieurs et un personnel nombreux spécialement attachés à l'étude de ces questions et à l'installation en ligne des appareils; les progrès en cette voie sont tels que, d'ici à quelques années, tout ce qui a été décrit ci-dessus sera sans doute encore perfectionné ou changé. Mais le pas le plus considérable sera fait le jour à prévoir, où les moteurs à ressort, à poids, où les moteurs humains et les transmissions mécaniques pourront être remplacés par des moteurs électriques, pratiques et simples, qui commanderont tous les changements de voie, tous les signaux optiques et acoustiques. Les manœuvres se réduiraient alors à un simple jeu de commutateurs condensés en un espace restreint, actionnés vite et facilement, et qui donneraient à tout le mouvement des trains une direction et une précision parfaites; ce serait un progrès immense, tant au point de vue de la commodité de transmission de

signaux Morses et d'exécution des manœuvres, qu'au point de vue de la rapidité et de la sécurité de la circulation. Il est donc infiniment désirable de voir bientôt se réaliser cette nouvelle application de l'électricité.

F. RODARY.

THÉORIE

DES

MACHINES MAGNÉTO ET DYNAMO-ÉLECTRIQUES (*)

VII. — THÉORIE DES MACHINES DYNAMOS.

Une grande partie de ce qui a été dit pour les magnétos s'applique également aux dynamos, notamment en ce qui concerne le calage des balais, les pertes d'énergie dues aux étincelles et aux courants de Foucault, etc. Il y a lieu toutefois ici de considérer, en plus, la réaction de l'armature induite sur les électros inducteurs. Dans une dynamo, en effet, ceux-ci contiennent un noyau en fer doux, qui généralement n'est pas saturé. L'armature, sous l'influence du courant qui la traverse, devient un aimant dont les pôles, situés aux extrémités du diamètre de commutation, exercent une induction magnétique sur le noyau et sont, par conséquent, attirés par lui. Cette attraction, à cause de la position donnée aux balais, aide à la rotation dans le cas d'une génératrice et diminue la force *e. m.* induite ; elle constitue, au contraire, une résistance à vaincre dans une réceptrice et diminue alors la force contre-électromotrice. Dans tous les cas elle est nuisible.

(*) Voir *Annales télégraphiques*, mai-juin, septembre-octobre 1885, janvier-février 1886.

La différence essentielle entre les magnétos et les dynamos consiste en ce que dans celles-ci le champ magnétique inducteur, au lieu d'être constant, dépend de l'intensité du courant induit, le courant qui excite les électros étant le même que celui qui circule dans l'armature ou en étant une dérivation. Pour résoudre les problèmes relatifs à une dynamo : calcul de la force *e. m.* induite ou du courant, etc., il faudra donc étudier pour cette machine suivant quelle loi varie le champ magnétique en fonction du courant exciteur.

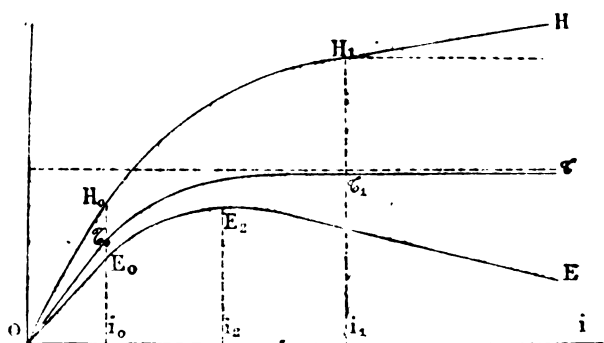


Fig. 9.

L'intensité H du champ magnétique développé par le courant exciteur i peut être décomposée en deux parties : l'une, proportionnelle à i , soit mi , due au courant même circulant dans les spires des électros ; l'autre, due à l'aimantation du noyau, qui est sensiblement proportionnelle à i pour de faibles intensités, mais qui tend vers une limite M lorsque i croît indéfiniment. Si l'on porte i en abscisses, H en ordonnées, on obtient la courbe représentative OH_0H_1 (fig. 9), qui se confond sensiblement avec la droite OH_0 jusqu'à une

certaine valeur i_0 de l'abscisse, et avec la droite H_1H ($H = M + mi$) à partir d'une valeur i_1 assez grande.

Mais si le champ magnétique H développé par les électroaimants peut croître indéfiniment avec i , comme on le voit sur la figure, il n'en est pas de même de la force *e. m.* induite en réalité dans l'armature de la dynamo. On sait que cette force *e. m.* est égale à : $Vnp(\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{C}_1)$, V étant la vitesse de rotation de l'anneau, np le nombre total des spires enroulées sur lui, $\mathfrak{C}_0$ et $\mathfrak{C}_1$ les flux de force magnétique qui traversent les sections faites dans l'anneau par le plan diamétral de commutation. Ces flux $\mathfrak{C}_0$ et $\mathfrak{C}_1$ ne croissant avec l'intensité du champ inducteur que jusqu'à une certaine limite, laquelle dépend de la qualité du fer employé pour le noyau de l'armature, des dimensions de celle-ci, etc., la force *e. m.* induite est par là même limitée à un certain maximum. Une courbe telle que $O\mathfrak{C}_0\mathfrak{C}_1\mathfrak{C}$ ayant une asymptote parallèle à Oi (*fig. 9*) représentera donc cette fonction $Vnp(\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{C}_1)$ lorsque i varie, V restant constant. On pourra admettre qu'elle se confond sensiblement avec sa tangente à l'origine tant que i est inférieur à i_0 , et avec son asymptote dès que i dépassera la valeur i_1 .

Cette nouvelle courbe $O\mathfrak{C}$, qui représente la force *e. m.* induite dans l'armature, ne fait pas encore connaître la force *e. m.* totale E de la dynamo. L'extra-courant ou les étincelles, qui se produisent forcément aux balais avec plus ou moins d'intensité, absorbent une fraction de l'énergie électrique et ont pour effet de développer en apparence une force contre-*e. m.* Celle-ci croîtra évidemment avec la valeur du courant i ; de telle sorte que la courbe OE_0E_1E de la force *e. m.* effective E , au lieu d'avoir, comme la courbe $O\mathfrak{C}$, une asymptote pa-

rallèle à Oi , va, à partir d'un maximum E_0 , en s'abaissant d'autant plus rapidement que l'extra-courant est plus sensible. Cet effet est très notable en particulier dans la machine Brush, où les secteurs de l'armature occupent un huitième de circonférence et sont mis successivement hors circuit pendant un huitième de révolution (voir *fig. 11*).

Usage de la caractéristique. — La courbe OE a reçu le nom, proposé par M. Deprez, de *caractéristique* de la dynamo. Pour construire la caractéristique correspondant à une vitesse V , les électros et l'armature étant disposés en série, on n'a qu'à faire varier la résistance extérieure à la machine et à mesurer, pour chaque valeur R de la résistance totale du circuit, l'intensité i du courant. On portera i en abscisses et $Ri = E$ en ordonnées.

Si l'on connaît la caractéristique correspondant à la vitesse V , pour avoir celle qui correspond à la vitesse V' on n'a qu'à multiplier toutes les ordonnées par le rapport $\frac{V'}{V}$. Cela revient à dire que pour une même intensité du courant i et, par suite, du champ magnétique, la force *e. m.* E est proportionnelle à la vitesse. Cette loi n'est pas rigoureuse sans doute; mais elle paraît largement suffisante pour les besoins ordinaires de la pratique, ainsi qu'il résulte des expériences faites par M. Deprez (*). Nous l'admettrons donc dans la suite.

La considération de la caractéristique permet de résoudre graphiquement d'une manière simple les questions relatives aux machines. Son importance, en l'ab-

(*) Voir *Comptes rendus*, t. XCVI, p. 192. — Discussion à ce sujet entre MM. Deprez et Lévy.

sence d'une formule théorique sûre reliant la force *e. m. E* à l'intensité *i*, est facile à concevoir d'après les exemples suivants :

1° Remarquons d'abord que, l'intensité *i* étant représentée par OP et la force *e. m. E* par PM (*fig. 10*), la résistance ($R = \frac{E}{i}$) est égale au rapport $\frac{MP}{OP}$, c'est-à-dire à la tangente de l'angle MOP. Si donc pour une vitesse V, à laquelle correspond la caractéristique

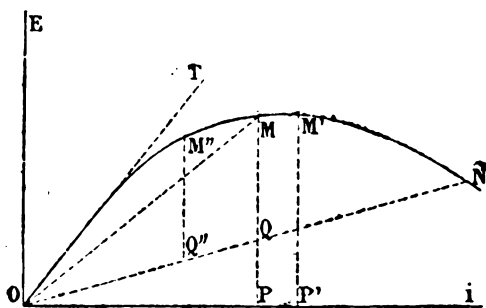


Fig. 10.

OMN, on veut savoir quelle sera l'intensité *i* du courant induit, la résistance totale étant R, on n'aura qu'à mener la droite OM faisant avec Oi un angle dont la tangente soit égale à R; l'abscisse OP du point M où elle coupe la courbe est égale à la valeur *i* cherchée.

2° Lorsque R augmente, l'angle MOP croît et le point M se rapproche de l'origine; l'intensité *i* diminue. La direction de la droite OM se rapprochant de la tangente OT à la courbe en O, la diminution de *i* devient très rapide pour un faible accroissement de R. L'intensité tombe à zéro lorsque OM se confond avec OT, c'est-à-dire pour $R = \tan \widehat{TOi}$. Puis, R continuant

à croître au delà de cette limite, le courant reste nul. C'est là le phénomène bien connu du désamorçement. Remarquons que, les ordonnées de la courbe étant proportionnelles à la vitesse V , il en est de même des coefficients angulaires des tangentes à la courbe. Par conséquent, on peut poser :

$$\text{tang } TOi = V k,$$

k étant un coefficient dépendant de la construction de la machine, mais non de V ni de i . Tant que R reste supérieur à Vk ou, ce qui revient au même, tant que la vitesse V est inférieure à $\frac{R}{k}$, la machine ne fournit aucun courant; elle ne peut *s'amorcer*.

3° Supposons que l'on veuille déterminer la différence ϵ de potentiels aux bornes de la dynamo, la vitesse étant V , la résistance totale R , la résistance intérieure de la machine r . On a :

$$\epsilon = E - ri.$$

On mènera donc la droite OM telle que : $\widehat{MOi} = R$, et ON telle que : $\widehat{NOi} = r$; on abaissera l'ordonnée MP , et la portion MQ interceptée par ON représentera la valeur cherchée ϵ . En effet, $MQ = MP - PQ$, et l'on a : $MP = E$ et : $PQ = OP \text{ tang } \widehat{POi} = ir$.

La direction ON est fixe et ne dépend pas de la résistance du circuit extérieur. Si l'on fait décroître celle-ci jusqu'à zéro, le point M se déplace sur la courbe depuis O jusqu'en N ; la longueur $MQ = \epsilon$ croît d'abord à partir de zéro jusqu'à un maximum $M''Q''$, puis décroît jusqu'à zéro. Le maximum de ϵ correspond au point M'' , où la tangente à la courbe est parallèle à ON , et a lieu

par conséquent avant le maximum MP' de la force $e. m. E.$

A la rigueur, la caractéristique ne doit point passer par le point O ; elle coupe l'axe OE à une très faible distance au-dessus de l'origine. En effet, le courant, au début, ne peut être engendré que grâce aux traces de magnétisme rémanent des noyaux ou au magnétisme terrestre, etc. ; et, par cela même que ce magnétisme primitif existe, si faible qu'il soit, il doit développer dans l'armature en mouvement une force $e. m.$ qui n'est pas nulle, même lorsque $i = 0$, c'est-à-dire à circuit ouvert. Ce fait a d'ailleurs été constaté expérimentalement ; mais il devient négligeable dès que le courant atteint les valeurs ordinaires dont on a besoin en pratique. Aussi supposons-nous désormais que les caractéristiques ont la forme générale représentée par les *fig.* 9 et 10.

Équation de la caractéristique. — Nous reproduisons ci-dessous (*fig.* 11), d'après M. Deprez (*), quelques formes de caractéristiques relevées sur divers types de machines. Ces courbes sont à des échelles très différentes. Ainsi pour la courbe 1, qui se rapporte à une machine Gramme à galvanoplastie tournant à 1.425 tours par minute, un interligne vaut 3 ampères en abscisse et 1 volt en ordonnée :

Courbe 1 (Machine Gramme à galvanoplastie, à 1.425 tours). — Échelle : 3 amp. 1 volt

— 2 —	Gramme, type A, à fil fin, à 640	—	—	1	40
— 3 —	Marcel Deprez, à 1.325	—	—	5	2
— 4 —	Siemens D ₂ , à 1.225	—	—	3	4
— 5 —	Brush, à 1.150	—	—	1,5	3

Toutes ces courbes ont une courbure nulle à l'origine

(*) Voir *Lumière électrique*, 22 avril, 29 juillet, 12 août, 2 septembre, 16 décembre 1882.

et se confondent très sensiblement avec leur tangente à partir de ce point sur une grande longueur. D'autre part, elles doivent être complétées du côté des i négatifs

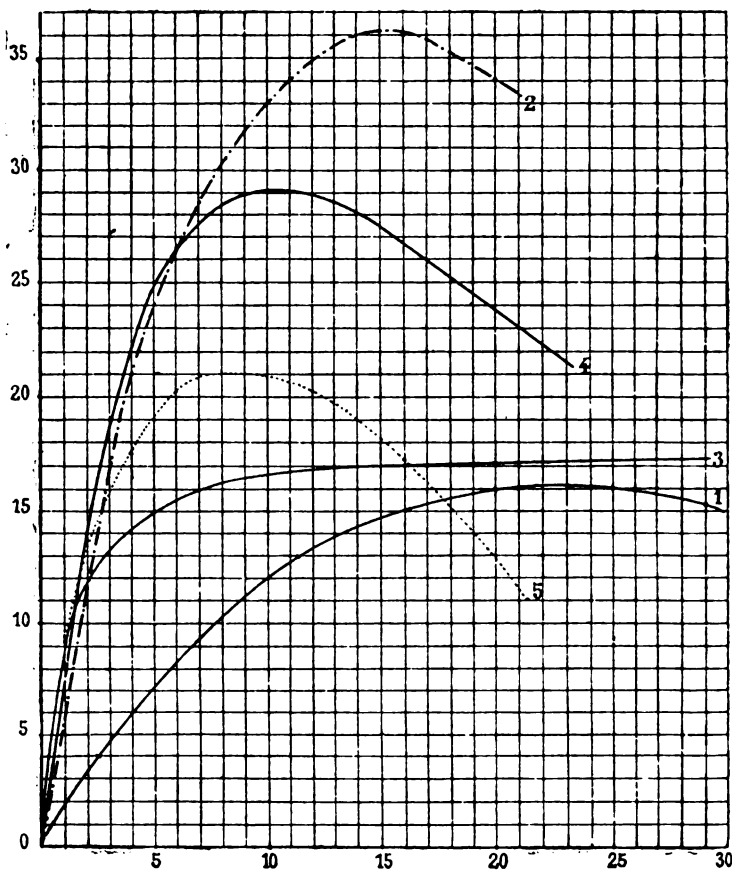


Fig. 11.

par une deuxième branche symétrique de la première par rapport au point O (fig. 12); car si un courant i induit une force $e. m. E$, le courant $(-i)$ induira une

force *e. m.* égale à $(-E)$. Ces remarques vont nous permettre de discuter la valeur des principales formules mises en avant jusqu'ici comme équation de la caractéristique ou comme représentation de *E* en fonction de *i*.

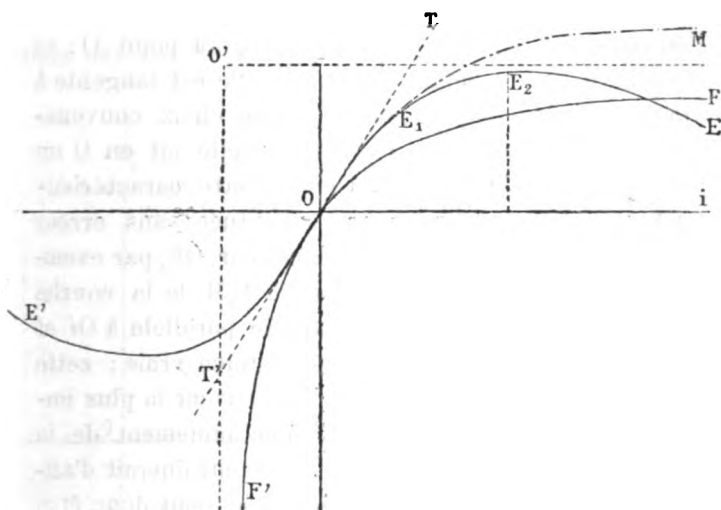


Fig. 12.

1° La loi, anciennement admise, de proportionnalité de la force *e. m.* au courant inducteur :

$$E = Vki,$$

est la plus simple de toutes. Elle peut, dans certains calculs, s'appliquer tant que *i* est assez faible ; mais elle est inadmissible en général. Si l'on voulait, par exemple, l'appliquer au calcul de l'intensité *i* lorsque la résistance totale est *R*, on serait amené à poser l'équation :

$$E = Vki = Ri,$$

qui, au lieu de faire connaître la valeur de *i*, se réduit à la condition absurde : $Vk = R$.

2° La formule :

$$E = V k \alpha \operatorname{arc tang} \frac{i}{\alpha},$$

due à Muller et développée par M. von Waltenhofen, offre les avantages suivants : la courbe qu'elle représente est symétrique par rapport au point O ; sa courbure en ce point est nulle ; elle est tangente à la caractéristique vraie ; enfin, par un choix convenable de α , on peut faire en sorte qu'elle ait en O un contact de troisième ordre avec cette caractéristique et qu'elle puisse lui être substituée sans erreur sensible sur une assez grande longueur, OE, par exemple. Par contre, la seconde partie E,M de la courbe (en traits mixtes) a une asymptote parallèle à Oi et s'écarte beaucoup de la caractéristique vraie ; cette partie devra être rejetée. Or, c'est souvent la plus importante à considérer pour le fonctionnement de la dynamo. La formule de Muller, qui entraînerait d'ailleurs des complications de calcul, ne peut donc être utilisée.

3° La formule :

$$E = V k \frac{i}{1 + \alpha i^2},$$

offre les mêmes avantages que celle de Muller. En outre, sa courbe représentative (non tracée sur la *fig.* 12), après une ordonnée maximum, s'incline vers l'axe Oi, auquel elle est asymptote. Elle pourrait être admise pour une certaine partie OE, de la caractéristique. Elle se prête facilement à certains calculs. Si l'on veut, par exemple, calculer i en fonction de R, on posera :

$$E = V k \frac{i}{1 + \alpha i^2} = R i,$$

d'où :

$$\alpha i^2 = \frac{V k}{R} - 1.$$

En portant $\frac{V}{R}$ en abscisses et i en ordonnées, on obtient une parabole (*fig. 13*), dont le sommet A a pour

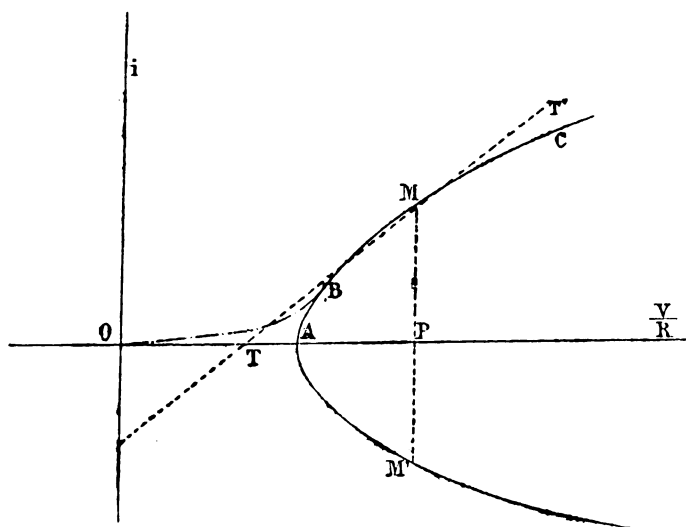


Fig. 13.

abscisse : $\frac{V}{R} = \frac{1}{k}$. On voit qu'à une même valeur OP de $\frac{V}{R}$ correspondent deux valeurs possibles de l'intensité, PM et PM' , égales et de signes contraires; et que pour des valeurs de $\frac{V}{R}$ inférieures à $\frac{1}{k}$ il ne peut y avoir courant, ce qui est bien conforme à l'expérience. A la rigueur, si l'on veut tenir compte du magnétisme rémanent, il y aura encore un courant, très

faible d'ailleurs, pour les plus petites valeurs de $\frac{V}{R}$, et le sommet BA de la parabole devra être remplacé par la partie OB en traits mixtes. La courbe OBMC a bien l'allure générale déterminée expérimentalement par M. Fröhlich pour sa *courbe du courant* (*).

4° M. Fröhlich, dans son étude sur la courbe du courant, considérant la partie BC de la courbe qui est à peu près seule utilisée dans le fonctionnement normal des machines, la remplace par la corde moyenne TT'. Cette droite TT' est représentée par une équation du premier degré :

$$bi = a \frac{V}{R} - 1.$$

En remplaçant R par $\frac{E}{i}$, on arrive à :

$$E = Va \frac{i}{1 + bi}.$$

En raison de la simplicité de cette formule, M. Fröhlich l'a adoptée comme base de tous ses calculs relatifs aux dynamos. En cela il a été suivi par MM. Clausius (**), Rucker (***), S.-P. Thompson, Boistel et

(*) Voir *Elektrotechnische Zeitschrift* ou *Lumière électrique*, t. IV, p. 17.

(**) M. Clausius, dans sa *Théorie des machines dynamo-électriques et du transport de la force* (voir *Lumière électrique*, t. XI, p. 224, 273 et 510), admet la formule $\frac{ai}{1 + bi}$, mais comme une approximation. — Dans

ce travail, il arrive à calculer l'intensité i en fonction de V et de R par une équation du troisième degré, qui a une racine nulle. Pour de faibles valeurs de V ($V < V_0$) les deux autres racines sont négatives, il adopte alors la racine nulle. Puis, V devenant supérieur à V_0 , l'une des racines devient positive; c'est celle là qu'il adopte désormais. Telle est, selon lui, l'explication du phénomène du désamorçement. — Ses calculs, basés sur des hypothèses très discutables, sont trop compliqués pour être reproduits ici.

(***) Rucker, *Philosophical Magazine*, juin 1885. — Boistel, *Électricien*, 1885-1886.

nombre d'autres physiciens. Sa formule mérite donc d'être examinée de près.

La courbe qu'elle représente est une hyperbole $F'OF$ ayant ses asymptotes $O'T$, $O'T'$ parallèles aux axes coordonnés. Elle manque donc absolument du caractère de symétrie par rapport à l'origine O , et sa courbure en ce point est loin d'être nulle. D'autre part, la formule :

$$bi = a \frac{V}{R} - 1,$$

qui représente la droite TT' (*fig. 13*), donne une valeur unique du courant i pour chaque valeur de $\frac{V}{R}$, tandis qu'il doit y avoir deux valeurs égales et de signes contraires. En outre, pour des valeurs de $\frac{V}{R}$ inférieures à $\frac{1}{a}$, elle donne un courant négatif au lieu d'indiquer une impossibilité d'amorçement de la machine. La formule est donc, à ces divers points de vue, en désaccord avec l'expérience et doit être rejetée au moins pour les faibles courants. Elle ne peut pas servir davantage pour les courants très élevés, notamment lorsqu'on a dépassé le maximum E_0 de force $e. m.$ (*fig. 12*), puisqu'alors celle-ci va en diminuant, tandis que la formule de M. Fröhlich indique un accroissement.

M. Fröhlich reconnaît (*) que l'usage de sa formule doit être restreint à une partie de la courbe. Il l'applique au *genou* de la caractéristique; il appelle ainsi l'arc à forte courbure qui suit la partie rectiligne du

(*) Voir *Elektrotechnische Zeitschrift* ou *Lumière électrique*, t. XVII, p. 73.

début. On détermine alors les coefficients a et b de manière que l'hyperbole passe par deux points de la caractéristique choisis sur la partie que l'on veut utiliser, E_1 et E_2 par exemple (*fig. 12*). On conçoit que les deux courbes se confondront d'autant plus sensiblement aux environs de ces points que ceux-ci seront plus rapprochés. Mais alors elles ne sont plus tangentes à l'origine O (*). Dans ces conditions, il n'y a aucun intérêt à faire passer l'hyperbole par le point O , et mieux vaudrait employer la formule tout aussi simple :

$$E = \frac{a + bi}{1 + ci},$$

dont on déterminerait les trois constantes a , b , c , de manière à faire passer l'hyperbole par trois points (au lieu de deux) de la partie de la caractéristique qu'il s'agit d'utiliser. M. Fröhlich ajoute que si, la résistance R venant à varier ou pour toute autre raison, on a à considérer un autre arc de la caractéristique, on modifiera en conséquence les valeurs des coefficients a et b .

Outre les inconvénients que nous venons de signaler, la formule de M. Fröhlich, si simple en apparence, est encore trop compliquée pour permettre d'arriver à des solutions simples de problèmes importants relatifs aux machines à double enroulement, ainsi que le remarque son auteur lui-même. Nous n'emploierons donc pas cette formule empirique et nous ne ferons

(*) Voir, dans le *Traité des machines dynamos* de S.-P. Thompson, un exemple de représentation d'une courbe (*fig. 169*, 1^{re} édition, ou 252. 2^e édition) par une formule $\frac{ai}{1 + bi}$. On trouve des écarts de 30 à 40 p. 100 entre les nombres observés et les nombres calculés pour les faibles valeurs de i (partie rectiligne de la courbe).

usage que de constructions graphiques sur la caractéristique.

5° Citons encore la formule de Sohncke :

$$E = \frac{i}{a} e^{-bi},$$

où a et b sont deux coefficients constants, e la base des logarithmes népériens. Enfin celle de Lamont :

$$E = a(1 - e^{-bi}),$$

que M. S.-P. Thompson regarde comme la loi naturelle de l'électro-magnétisme, mais qui a en réalité aussi peu de valeur théorique que la formule empirique de Fröhlich.

Énergie électrique développée dans une machine. — Une machine traversée par un courant i développe une force $e. m.$ ou contre- $e. m.$ E , suivant qu'elle agit comme génératrice ou comme moteur. Elle absorbe ou elle rend dans l'unité de temps une somme d'énergie électrique égale à

$$T = Ei.$$

La force $e. m.$ E étant sensiblement proportionnelle à la vitesse V , on a :

$$E = Ve,$$

e dépendant seulement de l'intensité du champ magnétique ou du flux de force à travers les spires de l'armature. Il en résulte :

$$T = Vei,$$

et pour l'énergie t correspondant à un tour de la machine :

$$t = \frac{T}{V} = ei.$$

Ce travail t par tour est égal, d'après les lois de la mécanique, au produit du couple F , qui donne lieu à la rotation, par 2π , soit : $t = 2\pi F$. On donne quelquefois à t le nom d'effort *statique* (M. Deprez).

Pour une magnéto on peut admettre que e reste sensiblement constant, au moins pour une position déterminée des balais $e = 2np \mathfrak{E}_a$ (voir plus haut), quoique, à la rigueur, sa valeur décroisse un peu quand i augmente. Par suite l'effort statique est simplement proportionnel à i ; et réciproquement si la machine est réceptrice, par exemple, et présente un effort résistant t , l'intensité ($i = \frac{t}{e}$) sera par là même déterminée, indépendamment de la force e . *m.* de la génératrice et de la résistance du circuit. Ce fait, paradoxal au premier abord, a été vérifié expérimentalement.

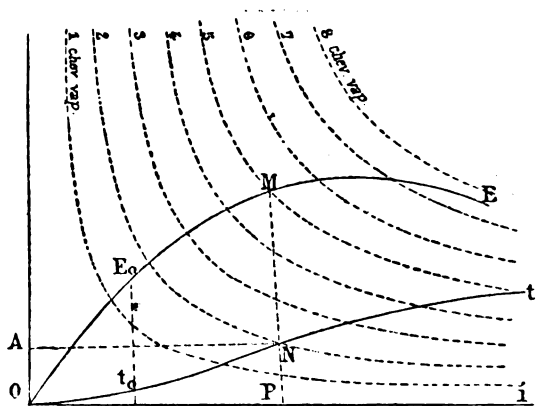


Fig. 14.

Pour une dynamo, e n'est plus constant, mais c'est une fonction de i seulement; de telle sorte que l'effort t , dans ce cas encore, ne dépend que de l'intensité du cou-

rant, et réciproquement celle-ci est déterminée par la résistance à vaincre à la réceptrice. La considération de l'*effort statique* est donc très importante pour les moteurs, et il est très utile de connaître sa courbe représentative. La *fig. 14* montre à la fois, pour une même machine, la caractéristique ou courbe des potentiels OE correspondant à une vitesse V , et la courbe Ot de l'effort statique, les abscisses représentant l'intensité i du courant. L'arc OE_0 de la caractéristique étant sensiblement rectiligne ($E = Vki$), la partie correspondante Ot_0 de la courbe Ot est un arc de parabole ($t = ki^2$).

Cette courbe Ot étant tracée, pour déterminer l'intensité du courant qui correspondra à un effort t_1 , on n'a qu'à porter $OA = t_1$ et à mener AN parallèle à Oi . La longueur AN représentera l'intensité cherchée.

L'intensité i étant portée en abscisses et la force e . *m.* E en ordonnées, le lieu des points pour lesquels le produit Ei est constant est une hyperbole. En donnant à Ei diverses valeurs, on obtient une série d'hyperboles 1, 2, 3, 4... (*fig. 14*). Si i est exprimé en ampères, E en volts, l'énergie Ei ou puissance *électrique* de la machine (*) l'est en volts-ampères ou watts. En divisant Ei par $75g = 736$, on a la puissance électrique en chevaux-vapeur. Les courbes 1, 2, 3... correspondent à :

$$\begin{aligned} Ei &= 736 \text{ watts} = 1 \text{ ch. vap.}, \\ Ei &= 2 \times 736, \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

Le figure étant sillonnée de ces courbes d'égale

(*) Sir W. Thomson a proposé de donner au produit Ei le nom d'*activité électrique* (*activity*) de la machine. L'adoption de ce nom, qui ferait double emploi avec celui de *puissance électrique*, ne paraît pas très utile.

puissance, il sera facile de voir pour un point M de la caractéristique, correspondant à une vitesse V et à un courant i , quel est le nombre de chevaux-vapeur absorbés ou fournis par la machine.

Il est à noter que l'énergie *électrique* $T = Ei$ n'est jamais égale au travail *mécanique* réel de la machine. Elle lui est inférieure si celle-ci est une génératrice, supérieure si c'est une réceptrice. La différence entre ces deux quantités représente l'énergie absorbée par les frottements, la résistance de l'air, les courants de Foucault, etc.; elle peut atteindre 10 à 15 p. 100 du travail utile dans les machines ordinaires.

Pour la même raison, on ne doit pas confondre le rendement électrique avec le rendement mécanique. Ainsi, dans le cas d'un transport de force, le travail mécanique étant T_m pour la génératrice et T_u pour la réceptrice, le travail électrique T pour la génératrice et T' pour la réceptrice, on aura :

$$\begin{aligned} T &= k T_m, \\ T_u &= k' T', \end{aligned}$$

les coefficients k et k' étant inférieurs à 1. Le rendement mécanique est :

$$\frac{T_u}{T_m} = k k' \frac{T'}{T},$$

le rendement électrique étant $\frac{T'}{T}$. Les coefficients k et k' ne peuvent se calculer *à priori*, quoiqu'on ait fait des tentatives à ce sujet (*). On ne peut que les déterminer dans chaque cas d'après les mesures directes de T , T' , T_m , T_u faites par des expériences électriques et dyna-

(*) Voir Fröhlich, *Elektrotechnische Zeitschrift* ou *Lumière électrique*, t. VIII, p. 364.

mométriques. Nous ne nous en occuperons pas désormais, et nous ne considérerons en général que le travail et le rendement électriques.

On considère ordinairement le rendement électrique $\frac{T'}{T}$ comme étant égal au rapport de la force contre *e. m.* $V'e'$ développée par le moteur à la force *e. m.* Ve de la génératrice. Il y a lieu de faire une restriction lorsque la ligne reliant les deux machines présente une certaine longueur et est insuffisamment isolée. L'intensité i' du courant qui arrive à la réceptrice est plus faible que celle du courant i que fournit la génératrice. On doit alors écrire :

$$\frac{T'}{T} = \frac{V'e'i'}{Ve i}.$$

Si les pertes de la ligne sont négligeables, on a : $i' = i$; si en outre les machines sont identiques et semblablement calées, on a : $e' = e$. Alors le rendement électrique est simplement égal au rapport des vitesses V' et V (*).

Enfin nous devons faire remarquer que si le rendement, dans un transport de force ou dans toute autre application, est un élément essentiel à considérer, il est loin d'être le seul. On pourrait arriver à des rendements bien supérieurs à ceux que l'on obtient en pratique, en augmentant indéfiniment les diamètres des

(*) Dans les expériences de Miesbach-Munich (1882), M. Deprez a évalué le rendement d'après le rapport des vitesses des deux machines, qui étaient construites d'une manière identique. Il ne s'est toutefois pas assuré que les conditions ci-dessus indiquées $e' = e$, $i' = i$ fussent remplies. Pour faire ressortir l'importance d'une telle vérification, rappelons que dans les expériences de Grenoble (1883), M. Boulanger a constaté entre les courants i et i' des différences allant à 6,6 p. 100 (Voir *Comptes rendus*, t. XCVI, p. 332, et t. XCVII, p. 749).

conducteurs et les dimensions des machines; mais ce n'est évidemment pas là une solution admissible. On voit donc que, pour réaliser le maximum d'économie, on doit faire entrer en ligne de compte les frais de premier établissement ou leur amortissement, les frais d'entretien, en même temps que le rendement. On est alors conduit dans chaque cas particulier à adopter un type de machine et un diamètre de conducteur déterminés. Cette question, qui n'a pas reçu encore de solution générale, a été traitée par divers auteurs, notamment par sir W. Thomson devant l'Association britannique (1881). Une des communications les plus récentes à ce sujet est due à MM. Ayrton et Perry (Voir *Journal of the Society of telegraph engineers and electricians*, mars 1886).

VIII. — PROBLÈMES DIVERS. — TRANSPORT DE LA FORCE.

Les notions précédentes permettent d'aborder quelques problèmes simples relatifs à l'éclairage électrique, à la charge des accumulateurs, au transport de force, etc., par des machines à courants continus, magnétos ou dynamos en série. On trouvera dans le chapitre suivant les indications au sujet des dynamos en dérivation.

Éclairage électrique. — Si aux bornes d'une magnéto, dont la résistance intérieure est r , on place des lampes à arc ou à incandescence disposées soit en série, soit en dérivation, et présentant une résistance totale ρ , l'intensité i du courant fournie par la machine à la vitesse V sera donnée par la formule :

$$Ve = (r + \rho)i,$$

et si l'on considère comme effet utile l'échauffement ρi^2 des lampes, le rendement *électrique* sera :

$$\frac{\rho i^2}{Vei} = \frac{\rho}{r + \rho}.$$

On a donc, à ce point de vue, intérêt à donner à r une faible valeur.

En réalité le problème pratique ne se présente pas ainsi. La résistance d'une lampe dépend de son échauffement et, par suite, du courant i ; en outre, les lampes à arc introduisent une force contre-*e. m.* Chaque lampe, pour donner son éclat normal, doit être parcourue par un courant déterminé et, dans ces conditions, présente une différence de potentiels connue entre ses bornes. A titre d'exemple, citons quelques chiffres :

		volts	amp.	
Lampe à incandescence	Edison	E = 100	I = 0,75	L = 16 bougies
—	Swan	95	0,63	»
—	à arc Gramme	53	109	966 carcel
—	Brush	44	10	38 id.

E représente la différence de potentiels aux bornes d'une lampe, I l'intensité du courant qui la traverse, L l'intensité lumineuse qu'elle fournit (1 carcel = 9 bougies environ).

Lorsque la distribution des lampes aura été arrêtée, on pourra donc calculer l'intensité i que doit fournir la machine et la différence ϵ de potentiels qu'elle doit donner aux bornes. La vitesse à laquelle elle devra tourner à cet effet sera :

$$V = \frac{ri + \epsilon}{e}.$$

Les variations de la vitesse V se traduisent dans les lampes par des variations d'éclat. Si V diminue, même légèrement, l'affaiblissement d'éclat peut être notable,

ce qui réduit beaucoup le rendement lumineux, en même temps que cet affaiblissement est désagréable à l'œil. Si au contraire V augmente, l'éclat s'accroît rapidement, il est vrai; mais la durée de lampes fonctionnant dans ces conditions anormales est diminuée considérablement. On a donc intérêt à se tenir entre certaines limites d'intensité et de force *e.m.* Soient (i_1, ϵ_1) et (i_2, ϵ_2) ces limites inférieure et supérieure, que l'expérience fait connaître. La vitesse V devra être maintenue par un régulateur entre les deux limites : $\frac{ri_1 + \epsilon_1}{e}$ et $\frac{ri_2 + \epsilon_2}{e}$. Le rendement électrique $\frac{\epsilon}{ri + \epsilon}$ est encore maximum lorsque r est minimum; il est vrai qu'il est essentiellement différent du rendement lumineux.

Pour rendre les lampes indépendantes les unes des autres, on les monte généralement en dérivation aux bornes de la machine. Si alors on vient à en supprimer quelques-unes, pour que les autres continuent à bien fonctionner, il faut que ϵ reste constant; mais l'intensité totale i ne peut plus être la même. On est donc conduit à modifier en conséquence ou V ou r . Comme on ne peut admettre un changement fréquent de réglage de la vitesse V , on fait varier r soit automatiquement, soit à la main, en introduisant ou supprimant entre la machine et le circuit extérieur des résistances convenables, jusqu'à ce que la valeur de ϵ , constatée par un voltmètre ou des *lampes-témoins* en dérivation, revienne à la valeur voulue.

Il est à peine nécessaire de faire remarquer ici que si, pour des applications diverses, on était obligé de changer le calage des balais de la magnéto, il faudrait attribuer chaque fois à e la valeur correspondante.

Les résultats précédents doivent être modifiés comme il suit dans le cas où l'on fait usage d'une dynamo. Portons sur l'axe des abscisses (*fig. 15*) une longueur OI égale à l'intensité i qui correspond au régime nor-

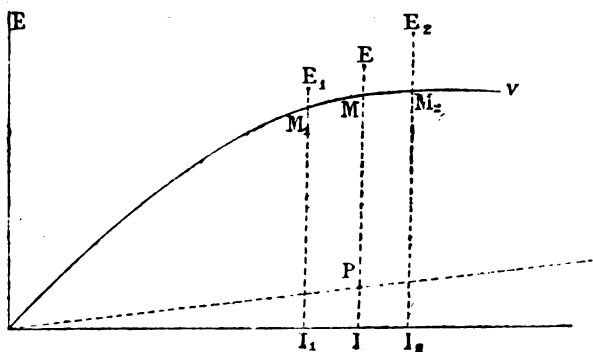


Fig. 15.

mal des lampes. Menons la droite OP telle que : $\widehat{POI} = r$; l'ordonnée IP est égale au produit ri . Prolongeons cette ordonnée d'une longueur PE égale à la différence de potentiels ϵ que l'on doit avoir entre les bornes de la dynamo. L'ordonnée IE est égale à :

$$ri + \epsilon = Ve,$$

et la vitesse V doit être telle que la caractéristique correspondant à cette vitesse passe par le point E . Si l'on connaît la caractéristique OMv correspondant à une vitesse connue v , on calculera donc V par la relation :

$$V = v \frac{IE}{IM},$$

M étant l'intersection de la courbe Ov avec l'ordonnée IE .

Pour déterminer les limites V_1 et V_2 entre lesquelles la vitesse doit rester comprise dans ses variations, on n'aura qu'à construire de même les points E_1 , E_2 correspondant aux limites (i_1, ϵ_1) et (i_2, ϵ_2) et à prendre :

$$V_1 = v \frac{I_1 E_1}{I_1 M_1},$$

$$V_2 = v \frac{I_2 E_2}{I_1 M_2}.$$

Charge d'accumulateurs. — Si l'on emploie pour les charger une magnéto, ρ désignant encore la résistance extérieure à la machine, y compris celle des accumulateurs, et E' la force contre-*e. m.* développée par ceux-ci, on aura :

$$Ve = (r + \rho)i + E'.$$

On voit que plus la vitesse V sera grande, plus le courant i sera intense et, par suite, plus la charge sera rapide. Par contre, le rendement, qui a pour expression : $\frac{E'i}{Ve i} = \frac{E'}{Ve}$ décroît lorsque la vitesse augmente.

On aurait le rendement maximum 100 p. 100 pour la vitesse :

$$V_1 = \frac{E'}{e};$$

mais alors le courant i serait nul et la charge infiniment lente. Si V est inférieur à V_1 , i change de sens et les accumulateurs se déchargent. Pour avoir un rendement déterminé, 90 p. 100, par exemple, on devra prendre $V = \frac{10}{9} V_1$. Si, au contraire, on se donne la valeur du courant i , autrement dit la rapidité de charge, on calculera V par la formule :

$$v = \frac{E' + (r + \rho)i}{e}.$$

Dans le cas d'une dynamo la relation précédente subsiste, mais e est fonction de i . On résoudra alors le problème graphiquement de la manière suivante :

Pour connaître l'intensité i correspondant à la vitesse V , construisons la caractéristique OMV et son

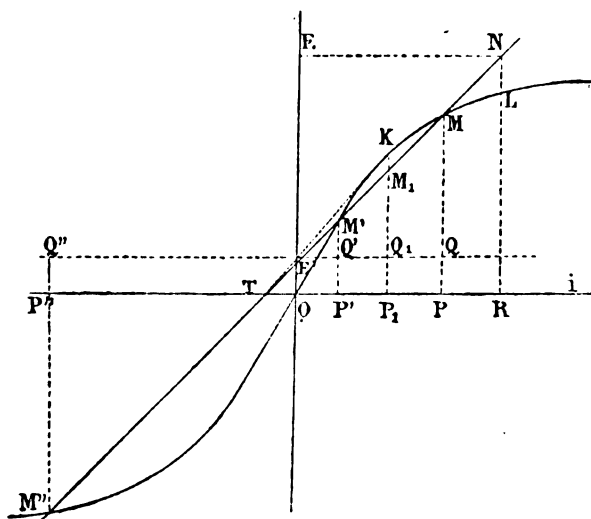


Fig. 16.

prolongement OM'' du côté des i négatifs. Menons la droite $E'M$ telle que la longueur OE' soit égale à la force contre- $e.m.$ E' , et que $\widehat{MTi} = (r + \rho)$. Les trois points M, M', M'' de rencontre de cette droite avec la courbe satisfont à la relation :

$$Ve = E' + (r + \rho)i,$$

et donnent, par conséquent, chacun une solution du problème.

Si au début, la machine tournant à la vitesse V , les accumulateurs sont en court circuit, ils n'introduisent

dans le circuit de la machine ni leur résistance ni leur force contre-*e. m.* On aura alors une intensité *i* considérable qui décroîtra peu à peu jusqu'à la valeur définitive OP lorsqu'on ouvrira le court circuit. A cette valeur OP du courant correspond la force *e. m.* $PM = Ve$, et par suite le rendement :

$$\frac{E'}{Ve} = \frac{PQ}{PM}.$$

Le point M donne donc la solution pratique. Il ne paraît pas possible d'obtenir la solution M'. Quant à la solution M'', elle correspond au cas où, pour une raison quelconque, le courant *i* aurait changé de sens; il induirait alors une force *e. m.* négative P''M'' qui s'ajouterait à la force *e. m.* P''Q'' des accumulateurs pour décharger ceux-ci.

Revenons à la solution M. Si l'on accroit la vitesse V, les ordonnées de la caractéristique sont augmentées dans le même rapport. Le point M d'intersection avec la droite E'M s'éloigne sur celle-ci, l'intensité OP et, par suite, la rapidité de charge s'accroissent; mais le rendement $\frac{PQ}{PM}$ diminue indéfiniment.

Si au contraire V diminue, la caractéristique s'abaisse, et les points M et M' s'approchent l'un de l'autre. Pour une certaine vitesse V₁, la courbe devient tangente à la droite E'M en un point M₁. Si V diminue encore au-dessous de V₁, les points d'intersection M et M' n'existent plus; la machine se désamorce et les accumulateurs se déchargent (solution M''). Pour déterminer la limite V₁ au-dessous de laquelle on ne doit pas laisser tomber la vitesse de la dynamo, on mènera par le point T où la droite E'M coupe Oi la tangente

TK à la caractéristique OV, et l'on abaissera l'ordonnée KP_1 , qui coupe E'M en M_1 . La caractéristique qui passerait en M_1 ayant ses ordonnées proportionnelles à celle de la courbe OV, les tangentes respectives aux deux courbes aux points K et M_1 situés sur une même ordonnée doivent concourir en un même point de Oi. Donc la tangente à la caractéristique passant en M_1 n'est autre chose que la droite E'M; c'est-à-dire que cette caractéristique est celle qui correspond à la vitesse V_1 . On en déduit :

$$V_1 = V \frac{P_1 M_1}{P_1 K}.$$

Supposons qu'au lieu de se donner *a priori* la vitesse V, on fixe la valeur du rendement $\frac{E'}{V_e}$ que l'on veut obtenir. E' étant connu, V_e se trouve par là déterminé. On portera donc une longueur OE égale à V_e , et l'on mènera EN parallèle à Oi jusqu'à sa rencontre en N avec la droite E'M. L'abscisse EN représentera l'intensité du courant, et la vitesse à donner à la machine sera celle qui correspond à la caractéristique passant par le point N, soit : $V \frac{RN}{RL}$. Ajoutons que, la vitesse V ne devant pas tomber au-dessous de V_1 , le rendement ne pourra dépasser la valeur $\frac{P_1 Q_1}{P_1 M_1}$, tandis qu'au moyen de magnétos on peut atteindre un rendement électrique égal à 1.

Si on fixe *a priori* la rapidité de charge, cela revient à se donner i . On prendra $OR = i$, et l'on mènera l'ordonnée RN jusqu'à sa rencontre en N avec la droite E'M. La valeur de i ne doit pas être inférieure à OP_1 .

Transport de la force par des magnétos (*). — Considérons deux magnétos calées de telle sorte que les forces *e. m.* induites soient Ve et $V'e'$, lorsque les vitesses de rotation sont V et V' . Si elles sont disposées en série dans un circuit dont la résistance totale est R , la première étant génératrice du courant i , la seconde réceptrice, on aura :

$$(1) \quad Ve = Ri + V'e'.$$

T désignant l'énergie électrique (en watts) fournie par la génératrice dans une seconde, T' l'énergie absorbée par la réceptrice ; t et t' les mêmes quantités par tour de machine, on peut écrire :

$$(2) \quad T = Vt,$$

$$(3) \quad T' = V't',$$

$$(4) \quad t = ei,$$

$$(5) \quad t' = e'i.$$

Deux des sept quantités T , T' , t , t' , V , V' , i étant données, on pourra calculer les cinq autres par les cinq relations précédentes, puisque R , e , e' sont des éléments connus. Nous traiterons seulement deux des cas les plus importants :

1° On donne la vitesse V de la génératrice, qui est maintenue constante au moyen d'un régulateur, et l'effort t' à vaincre à la réceptrice. On demande de calculer la vitesse V' que prendra celle-ci, le travail T' qu'elle absorbera, le travail T que doit fournir la génératrice, enfin le rendement du système. — On voit qu'il ne s'agit là que de quantités mécaniques, les éléments

(*) Il s'agit ici de magnétos à courants continus. On n'a pas fait jusqu'ici un emploi pratique des machines à courants alternatifs pour le transport de la force. Le docteur Hopkinson a toutefois montré la possibilité de leur emploi (Voir le *Bulletin de la Society of Telegraph Engineers* de novembre 1884).

électriques devant simplement servir d'intermédiaires.

L'intensité i du courant est déterminée par l'effort t' d'après l'équation (5) :

$$i = \frac{t'}{e'}.$$

L'équation (1) donne alors pour V' :

$$(6) \quad V' = V \frac{e}{e'} - R \frac{t'}{e'^2},$$

d'où

$$(7) \quad T' = t' \left(V \frac{e}{e'} - R \frac{t'}{e'^2} \right).$$

Enfin

$$(8) \quad T = V t' \frac{e}{e'},$$

et le rendement *électrique* est :

$$(9) \quad \frac{T'}{T} = 1 - \frac{R t'}{V e e'}.$$

On voit d'abord que l'on a intérêt, au point de vue du rendement, à accroître e et e' , c'est-à-dire l'intensité des champs magnétiques des deux machines, et la conductibilité $\frac{1}{R}$ du circuit. En outre, le rendement est d'autant plus grand que la vitesse V est plus élevée et l'effort à vaincre t' plus faible. Quant à la puissance T' du moteur, elle s'accroît constamment avec V ; mais elle n'augmente avec l'effort t' que jusqu'à un maximum égal à $\frac{(Ve)^2}{4R}$, qu'elle atteint pour $t' = \frac{Ve e'}{2R}$. Pour des valeurs plus grandes de t' , T' va en diminuant. — Lorsque le travail T est maximum, la force contre-*e. m.* $V e'$ est la moitié de Ve , et le rendement est égal à $\frac{1}{2}$.

La *fig. 17* donne de ces résultats une représentation graphique, dont l'idée est due à M. Deprez.

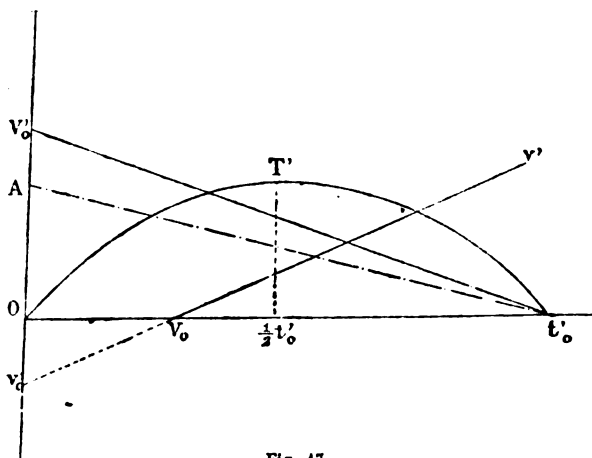


Fig. 17.

Supposons que, t' restant constant, on fasse croître V . La formule (6) indique que pour $V=0$ on a : $V' = -R \frac{e'^2}{t'} = -v'_0$; et V' reste négatif jusqu'à ce que V atteigne la valeur $\frac{Rt'}{e} = V_0$. Cela correspond à la période où la résistance à vaincre l'emporte sur le couple moteur. Ensuite, V continuant à croître, V' croîtra indéfiniment. En portant V en abscisses et V' en ordonnées, on obtient la droite $V_0v'_0$ ayant pour équation :

$$\frac{V}{V_0} - \frac{V'}{v'_0} = 1.$$

T' serait également représenté en fonction de V par une droite passant par le même point V_0 .

Si au contraire, V restant constant, on fait croître

l'effort à vaincre t' , V' ira en décroissant depuis :

$$V \frac{e}{e'} = V'_0 \text{ pour } t' = 0, \text{ jusqu'à zéro pour } t' = \frac{V e e'}{R} = t'_0.$$

En portant t' en abscisse et V' en ordonnées, on obtient la droite $V'_0 t'_0$ ayant pour équation :

$$\frac{t'}{t'_0} + \frac{V'}{V'_0} = 1.$$

Le rendement, qui est une fonction linéaire de t' , est représenté par l'ordonnée de la droite At'_0 passant par le même point t'_0 et par le point A tel que $OA = 1$.

Enfin, en portant t' en abscisses et T' en ordonnées, la formule (7) sera représentée par la parabole $OT't'_0$, dont le sommet T' a pour abscisse $\frac{1}{2}t'_0$ et correspond au travail maximum et au rendement $\frac{1}{2}$, comme l'indique la figure.

2° On donne l'effort à vaincre t' et l'on veut obtenir un travail T' . Quelle doit être la vitesse V de la génératrice, et quel sera le rendement ?

On trouve :

$$V = \frac{T'}{t'} \frac{e'}{e} + R \frac{t'}{ee'},$$

$$\frac{T'}{T} = \frac{T'}{T' + R \frac{t'^2}{e^2}}.$$

Nous donnerons ici, comme exemple, des chiffres relatifs aux expériences du transport de force de Greil à Paris (octobre 1885). La ligne reliant les deux stations a 56 kilomètres de longueur; elle comprend un fil d'aller et un fil de retour, dont la résistance totale est de 100 ohms à 15° centigrades. La génératrice a deux anneaux présentant chacun une résistance de 16^{ohms},5;

la réceptrice deux anneaux de 18 ohms chacun. Cette dernière, dans les expériences en question, était à Creil près de la génératrice au lieu de se trouver effectivement à Paris, circonstance qui doit sans doute influer notablement sur la somme de travail transmis et sur le rendement. Enfin les champs magnétiques inducteurs, dans les deux machines, étaient dus à des électro-aimants dans lesquels on envoyait des courants engendrés par de petites machines excitatrices spéciales. Le travail absorbé par ces excitatrices doit donc entrer en ligne de compte comme travail moteur. Ceci posé, voici le tableau des données électriques et mécaniques d'une expérience, telles qu'elles résultent de la communication de M. Deprez à l'Académie des sciences (*).

	GÉNÉRATRICE.	RECEPTRICE.
Vitesses en tours par minute.	60 V = 170	60 V' = 277
Forces électromotrices induites.	V e = 5.717 ^v	V' e' = 4.441 ^v
Intensité du courant	$i = 7^{\text{amp}}, 2$	
Travail absorbé pour la création des champs magnétiques.	$T_g = 10^{\text{chev}}, 3$	$T_r = 3^{\text{chev}}, 8$
Travail électrique dans les anneaux.	$\frac{V e i}{736} = 53^{\text{chev}}, 9$	$\frac{V' e' i}{736} = 43^{\text{chev}}, 4$
Travail mécanique mesuré (au dynamomètre ou au frein)	$T_m = 61^{\text{chev}}$	$T_u = 40^{\text{chev}}$
Rendement électrique.	$\frac{V' e'}{V e} = 78 \text{ p. } 100$	
Rendement mécanique industriel.	$\frac{T_u}{T_m + T_g + T_r} = 53,4 \text{ p. } 100$	

Transport de la force par des dynamos. — Les équations fondamentales (1), (2), (3), (4) et (5) relatives aux magnétos subsistent dans le cas des dynamos. Seulement les champs magnétiques inducteurs ne sont plus invariables; e et e' sont des fonctions de i , que

*) *Comptes rendus*, 26 octobre 1885

$$V'e' = Ve - Ri = \overline{MN},$$

$$V' = V_0 \frac{MN}{QM},$$

$$T' = V't',$$

$$T = V'et = \overline{QM} \overline{OQ}.$$

Enfin le rapport $\frac{T'}{T}$ donnera le rendement électrique.

Le problème est donc résolu.

On vient de voir que la force contre *e. m.* $V'e'$ est représentée par l'ordonnée MN comprise entre la caractéristique OMV et la droite ONV . Si l'on donne à t' , et par suite à i , des valeurs croissantes à partir de zéro, cette force contre *e. m.* croîtra depuis zéro jusqu'à un maximum mn , puis décroîtra et redeviendra nulle au point V où l'on a : $Ve = Ri$.

Quant au rendement, il est représenté par le rapport :

$$\frac{V'e'}{Ve} = \frac{MN}{MQ} = 1 - \frac{\text{tang } NOi}{\text{tang } MOi}.$$

L'angle NOi restant fixe et l'angle MOi décroissant constamment lorsque le point M s'éloigne de l'origine, il en résulte que le rendement, qui à l'origine est égal à

$$1 - \frac{\text{tang } NOi}{\text{tang } UOi} = u_0,$$

va constamment en diminuant depuis u_0 jusqu'à 0, lorsque l'effort t' augmente depuis 0 jusqu'à la valeur t'_0 correspondant au point V , où l'on a : $Ve = Ri$. Pour $t' = t'_0$ on trouve $V' = 0$, c'est-à-dire que la réceptrice reste calée, le courant étant impuissant à la faire démarrer. Remarquons que pour une valeur très faible de l'intensité le rendement ne peut dépasser la valeur $u_0 < 1$, tandis qu'il atteint la valeur 1 dans le cas des magné-

Le travail T' de la réceptrice a pour expression :

$$T' = Vei - Ri^2.$$

Il varie donc également lorsque i' et, par suite, i varient. Il est nul pour $i = 0$, c'est-à-dire pour $i' = 0$, et nul de nouveau lorsque $Ve = Ri$ (au point V). Dans l'intervalle il passe par une valeur maximum que l'on obtient en annulant sa dérivée par rapport à i :

$$\frac{dT'}{di} = Ve + Vi \frac{de}{di} - 2Ri = 0.$$

En tenant compte de cette relation, on trouve pour le rendement u correspondant au travail maximum

$$u = 1 - \frac{Ri}{Ve} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{i}{e} \frac{de}{di}.$$

Ce rendement est inférieur à $\frac{1}{2}$ (tandis que dans le cas des magnétos il est $\frac{1}{2}$) tant que $\frac{de}{di}$ est positif, c'est-à-dire tant que la valeur de i donnant le maximum de T' correspond à un point de la partie ascendante de la caractéristique de la génératrice. Il devient égal à $\frac{1}{2}$ si le travail maximum correspond au sommet de la caractéristique, où : $\frac{de}{di} = 0$. Enfin il est supérieur à $\frac{1}{2}$ pour la partie descendante de celle-ci.

La condition $\frac{dT'}{di} = 0$ peut s'écrire :

$$\frac{e}{i} + \frac{de}{di} = \frac{2R}{V},$$

et donne une valeur de i croissante avec V . Si l'on désigne par i_m , e_m les valeurs de i et de e correspondant

au sommet de la caractéristique, on voit que cette condition donnera une valeur de i inférieure ou supérieure à i_m , suivant que V sera inférieur ou supérieur à $\frac{2Ri_m}{e_m}$. Tant que V sera inférieur à $\frac{2Ri_m}{e_m}$, le rendement correspondant au maximum de T' sera inférieur à $\frac{1}{2}$. On voit d'ailleurs que, dans tous les cas, le travail maximum de la réceptrice et le rendement correspondant dépendent des éléments de la génératrice (vitesse V et caractéristique) et de la résistance R du circuit, mais nullement des éléments de la réceptrice, ce qui peut paraître étonnant au premier abord.

Lorsque l'effort i' et, par suite, i restent constants, le rendement $\left(1 - \frac{Ri}{Ve}\right)$ croît constamment avec V . Dans le cas où les machines sont identiques et semblablement calées, on a : $e' = e$, et l'équation :

$$Ve = Ri + V'e'$$

devient :

$$V - V' = R \frac{i}{e},$$

et comme i et e restent constants, la vitesse de la réceptrice s'accroît en même temps que celle de la génératrice, et de telle sorte que leur différence $(V - V')$ reste constante. Ce fait a été vérifié expérimentalement.

2° On se donne *a priori* le travail T' de la réceptrice et le rendement $\frac{T'}{T} = u$. Alors les formules :

$$\begin{aligned} T &= \frac{T'}{u}, \\ Ri^2 &= T - T', \end{aligned}$$

$$V' = \frac{T'}{l'},$$

$$V = \frac{T}{ei},$$

feront connaître successivement le travail T que doit fournir la génératrice, l'intensité i , la valeur l' (au moyen de la courbe de l'effort statique) à donner à l'effort résistant, la vitesse V' que prendra la réceptrice, enfin la vitesse V que l'on doit donner à la génératrice.

3° Étant données une génératrice et une réceptrice qui ont servi à transporter un travail T' avec un rendement $\frac{T'}{T} = u$, la ligne qui les sépare ayant une résistance ρ , on se propose de construire deux autres machines capables de transporter le même travail avec le même rendement par un fil de résistance n^2 fois plus grande ($n^2 = 100$ ou 500 par exemple).

T' et u devant rester constants, il en est de même de T et de $(T - T')$. Comme l'on a

$$\begin{aligned} T - T' &= R i^2, \\ T &= V e i = E i, \\ T' &= V' e' i = E' i, \end{aligned}$$

la première relation montre que i doit être inversement proportionnel à $\sqrt{R}$, R étant la résistance totale du circuit, y compris celle des machines. Il en résulte, d'après les deux dernières, que E et E' doivent être proportionnels à $\sqrt{R}$. Mais ces indications ne suffisent pas pour résoudre le problème, et l'on peut imaginer une infinité de solutions. En voici une très élégante due à M. Deprez.

Prenons les carcasses des deux machines existantes.

Enlevons le fil enroulé sur les armatures et les inducteurs, et nous le remplacerons par un fil de même volume total, qui ne change par conséquent en rien l'aspect extérieur de chaque organe, mais dont la section soit n fois plus petite. Le nombre des spires de fil enroulé sera ainsi multiplié par n , et la résistance des machines par n^2 comme celle de la ligne, si bien que la résistance totale R sera devenue n^2 fois plus grande. L'intensité i , qui doit être inversement proportionnelle à $\sqrt{R}$, devra donc être n fois plus faible et les forces *e. m.* E et E' n fois plus grandes.

Dans ces conditions le champ magnétique des *inducteurs* n'aura pas varié, puisque n spires voisines du nouvel enroulement traversées par le courant $\frac{i}{n}$ produisent le même effet que la spire unique de même section totale qu'elles remplacent et qui était traversée par le courant i . Mais le nombre des spires sur les *armatures* étant multiplié par n , si les vitesses V et V' restent les mêmes, les forces *e. m.* induites E et E' se trouveront elles-mêmes n fois plus grandes; de telle sorte que les travaux Ei et $E'i$, ainsi que les efforts ei et $e'i$ n'auront pas changé. On n'aura donc qu'à installer des machines à enroulement modifié, séparées par la résistance $n^2\rho$, à développer à la réceptrice le même effort $t' = e'i$, à faire tourner la génératrice à la même vitesse V qu'avant la transformation; et l'on recueillera le même travail T' avec le même rendement u .

L'intensité i sera devenue n fois plus faible, ce qui ne peut être qu'un avantage. Mais les potentiels seront n fois plus élevés, ce qui est un inconvénient sérieux

lorsqu'on atteint des potentiels de plusieurs milliers de volts (*).

Nous ne reproduirons point ici des données d'expériences sur des dynamos. On trouvera dans ce recueil (mars-avril, mai-juin et septembre-octobre 1883) les rapports de M. Cornu et de M. Boulanger, contenant d'une manière complète les mesures mécaniques et électriques effectuées dans les expériences de M. Deprez, à la gare du Nord et à Grenoble (**).

(*) Dans les expériences de Creil, citées plus haut (octobre 1883), on a atteint une force *e. m.* de 5.700°. Le circuit présentait donc au moins en certains points un potentiel de 2.850°, et cette limite a dû être bien dépassée dans des expériences plus récentes. Les dangers que présentent des potentiels aussi élevés ne paraissent pas devoir en faire abandonner l'usage, qui s'impose à d'autres points de vue. Toutefois certains incidents survenus au cours des expériences prouvent qu'il est nécessaire d'observer des précautions spéciales dans l'isolement de la ligne et la manœuvre des machines.

Les principaux dangers à signaler dans l'emploi de potentiels élevés sont les suivants :

1° Si une personne vient à rompre le circuit en un point quelconque, elle recevra l'extracourant, dont l'effet est proportionnel au carré de l'intensité du courant et à la self-induction des machines.

2° Si l'on touche en un point le circuit, celui-ci étant à la terre en un autre point, on reçoit une dérivation notable du courant, et à la cessation du contact on reçoit un extracourant.

3° Même en supposant le circuit parfaitement isolé et sans aucun point à la terre, si on le touche en un point où le potentiel est V , on reçoit une décharge égale au produit de V par la capacité électrostatique C de la ligne. En effet le point touché est ramené au potentiel zéro, et par suite le potentiel en chaque point du circuit est diminué de V . Tout se passe donc comme si la ligne étant primitivement au potentiel V venait à être mise en communication avec la terre; elle perd la charge CV .

4° Si la ligne est constituée par un câble isolé sur poteaux et que l'on touche l'armature extérieure au moment d'une cessation brusque du courant, on recevra toute la charge de cette armature, qui était retenue par la charge intérieure du fil conducteur et qui est rendue libre à ce moment.

(**) Voir également *Comptes rendus*, 1883.

(A suivre.)

VASCHY.

MONTAGE DES SONNERIES

SUR

LES APPAREILS HUGHES AUTOMATIQUES

DESSERVANT LES FILS SOUTERRAINS

Les sonneries montées à la manière ordinaire répondent au besoin du service dans la généralité des cas; il est cependant certaines circonstances où, comme sur les lignes souterraines à grande distance desservies par l'appareil Hughes, l'intensité des émissions est quelquefois insuffisante pour assurer un fonctionnement sûr de la sonnerie d'appel.

Dès lors, il y a lieu, dans l'intérêt du service, d'adopter une disposition spéciale.

Les deux solutions suivantes, appliquées à l'appareil Hughes automatique, paraissent répondre au cas le plus défavorable, c'est-à-dire à celui où le courant reçu est simplement suffisant pour provoquer le soulèvement de l'armature de l'appareil.

Ces deux systèmes, essayés en mai et juin 1885 au bureau central de Bordeaux, ont donné d'excellents résultats. L'un d'eux, installé à poste fixe sur deux appareils automatiques, fonctionne très bien depuis cette époque et n'a jamais donné lieu à aucune objection.

1^{er} SYSTÈME.

Emploi d'une pile locale.

Le croquis ci-dessous donne le plan des communica-

tions de l'installation et celles de l'appareil; dans ces dernières, on remarque que le fil du butoir BU de la manette et celui du petit massif PM de l'armature ne sont plus reliés directement à la borne Terre de l'appareil, mais communiquent avec cette borne par l'intermédiaire du commutateur à deux directions CO au moment où l'on est sur réception, c'est-à-dire lorsque le trou A est bouché métalliquement.

Donc, sans complication, rien n'est changé dans la marche normale de l'appareil et, comme dans les installations ordinaires, l'on peut se mettre sur appareil en bouchant le trou A, ou sur sonnerie en débouchant le trou A et bouchant le trou S.

Marche du courant.

1° *Ligne sur appareil. Le trou A bouché; position de réception ou de transmission.* — Marche normale du courant; dès que l'armature est soulevée, la décharge de la ligne s'opère comme à l'ordinaire par le massif de l'appareil LD, AR, PM, A et la borne Terre.

2° *Ligne sur sonnerie. Le trou S étant bouché et le trou A débouché.* — Le courant + venant de la ligne provoque normalement ce soulèvement de l'armature AR. Le contact de l'armature AR et du levier de détente LD étant établi, la pile locale est fermée à travers la sonnerie SO par : Borne L, massif, LD, AR, PM, et S du commutateur CO.

3° *Essai de la sonnerie.* — Dès que le travail a cessé, c'est-à-dire lorsque les appareils sont au repos et que la ligne a été mise sur sonnerie par le bouchage du trou S, il est bon de s'assurer du fonctionnement de la sonnerie; cette vérification est très facile :

1° Mettre pendant un instant la manette MA en communication avec le butoir BU; la sonnerie doit fonctionner.

2° Mettre, avec le doigt, l'armature AR en contact avec le levier LD; la sonnerie doit également fonctionner.

Ces deux opérations, très simples et très rapides, mettent en garde contre tout dérangement.

Remarque. — Prendre comme pile locale deux séries de quelques éléments, groupées en quantité et employer une sonnerie de faible résistance.

2° SYSTÈME.

Emploi de la pile de ligne comme pile locale.

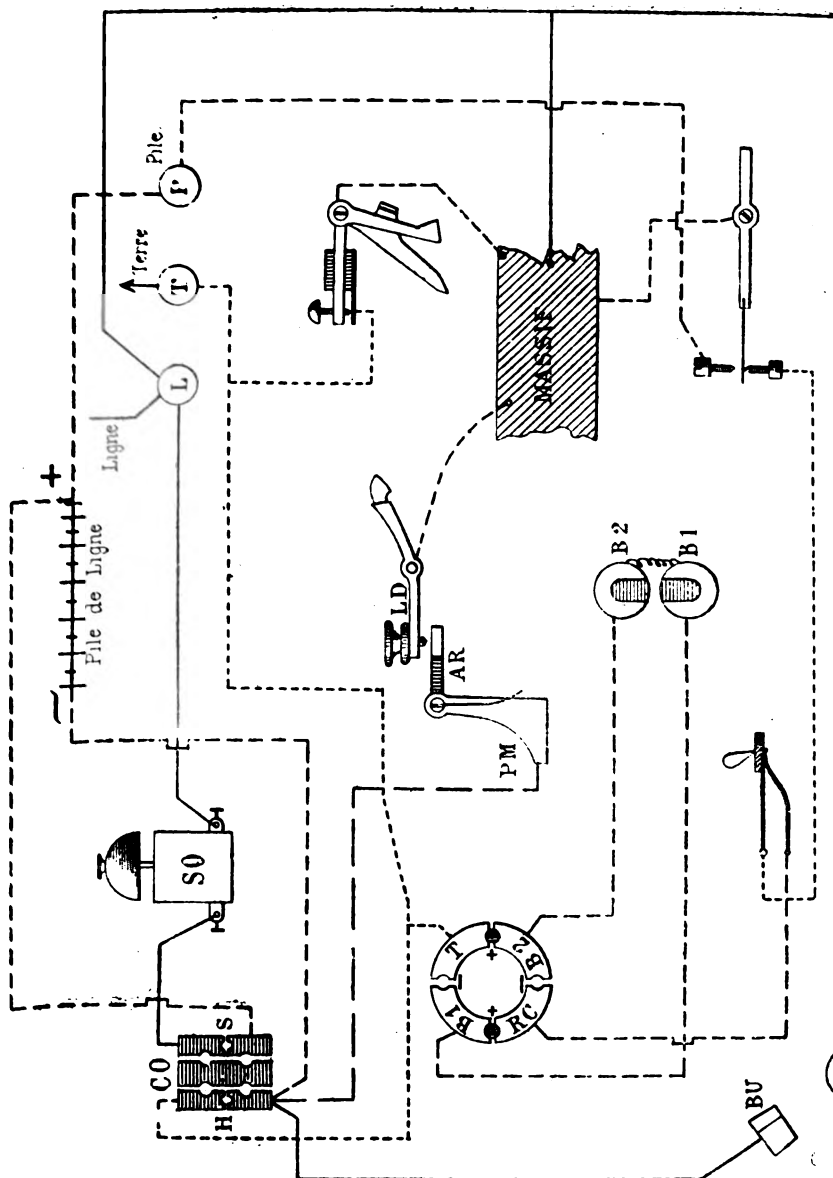
Le plan des communications de l'installation et de celles de l'appareil est donné par les figures ci-dessus.

Comme dans le premier système, on remarque que le fil du butoir BU et celui du petit massif PM de l'armature AR ne communiquent avec la borne Terre que par l'intermédiaire du commutateur à 4 directions CO alors qu'on est sur réception, le trou H étant bouché.

Dès lors, la marche du courant est normale et, comme dans une installation ordinaire, on met la ligne sur appareil en bouchant le trou H ou bien sur sonnerie en bouchant le trou S avec la cheville du trou H.

Marche des courants.

1° *Ligne sur appareil. Position de réception ou de transmission, le trou H étant bouché.* — La marche



des courants reste normale. L'armature AR étant soulevée et, par suite, au contact du levier LD, la décharge de la ligne s'effectue par le massif, LD, AR, PM, H et la borne Terre.

Pour la transmission, la pile de ligne dont le pôle + est attaché à la borne P de l'appareil prend terre par son pôle —, par H du commutateur CO et T.

2° Ligne sur sonnerie. Boucher le trou S en débouchant le trou H. — Un courant + venant de la ligne provoque normalement le soulèvement de l'armature AR et le contact de cette armature avec le levier LD.

Dans ces conditions, la pile de ligne, dont le pôle — n'est plus à la terre, puisque le trou H est débouché, est fermée à travers la sonnerie SO par PM, AR, LD, le massif de l'appareil et le trou S bouché. La sonnerie fonctionne.

3° Essai de la sonnerie. — Comme dans le premier système, il est prudent de s'assurer du fonctionnement de la sonnerie, quand les appareils sont au repos et que le trou S est bouché.

1° Mettre un instant la manette MA sur le butoir BU; la sonnerie fonctionne par BU, MA, L, SO et S.

2° Établir, avec le doigt, le contact de l'armature AR et du levier LD. Le circuit de la pile est encore fermé à travers la sonnerie par PM, AR, LD, massif, L, SO et le trou S bouché.

Remarque. — Autant que possible, employer une sonnerie de moyenne ou de faible résistance.

Bordeaux, le 7 avril 1886.

A. FARJOU,

Contrôleur du service technique des postes
et des télégraphes. — Bordeaux-Central.

ÉTUDE.

DE LA PILE DANIELL À GRAVITÉ

ET DES PILES A UN LIQUIDE.

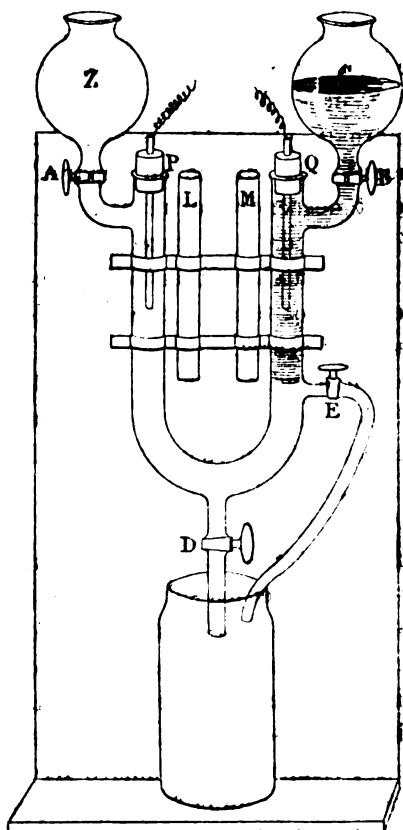
M. J.-A. Fleming a récemment examiné (*) dans quelles conditions l'élément Daniell peut fournir un étalon de force électromotrice.

Il a, pour ces expériences, combiné une modification du potentiomètre de Clark (**). Deux règles divisées de 1^m,50 environ sont placées sur un socle parallèlement et à moins d'un centimètre l'une de l'autre; au-dessus sont tendus deux fils en maillechort bien calibrés et réunis à l'une des extrémités par un bloc de cuivre; la résistance des fils est d'à peu près 3ω par mètre. Les deux règles sont divisées en 600 parties chacune; il est facile d'apprécier le dixième de division, c'est-à-dire le 12.000^e de la longueur totale du fil. Les éléments à comparer sont attachés d'une part à une bande de cuivre et de l'autre à des curseurs mobiles entre les deux règles et portant des ressorts de contact; un galvanomètre de 5.000 unités et une résistance de 50.000 ω sont intercalés entre la bande

(*) Dr J.-A. Jenkin. On the use of Daniell's cell as a standard of Electromotive Force, *Philosophical Magazine*, 5^e série, vol. XX, 1883, p. 126.

(**) Blavier. Des Grandeurs électriques et de leur Mesure en unités absolues, p. 497, et *Annales télégraphiques*, 1880, p. 169.

de cuivre et une des extrémités du fil; celles-ci sont, comme à l'ordinaire, reliées aux deux pôles d'une pile auxiliaire.



Pour les comparaisons qu'il avait en vue, le Dr J.-A. Fleming a donné à l'élément Daniell une forme particulière que met en évidence la figure ci-jointe.

Un tube en U de 2 centimètres environ de diamètre et de 20 centimètres de haut est muni de quatre tubu-

lures latérales; les deux supérieures aboutissent aux réservoirs Z et C et les deux inférieures D et E servent à vider l'appareil. La solution la plus dense est mise dans le réservoir de gauche et l'on en remplit le tube en U tout entier. On bouche en P; puis l'autre solution ayant été introduite dans le réservoir de droite C, on ouvre E et B légèrement et le second liquide vient prendre la place du premier dans la branche correspondante; la surface de séparation doit rester bien nette et descendre au niveau E. Les tiges électrodes pénètrent dans le tube en U à travers des bouchons en caoutchouc; entre les expériences, on les dépose dans les tubes L et M remplis des solutions usitées dans les essais.

L'élément fixe qui a servi de terme de comparaison dans toutes les mesures était un élément de Clark dont on connaissait la force électromotrice (1^v,435, d'après Lord Rayleigh, 1884).

La nature et l'état des électrodes ont une certaine importance. Le zinc et les solutions restant identiques, on a obtenu les résultats les plus uniformes avec du cuivre recouvert d'une couche électrolytique au moment de l'expérience; l'électrode ne doit sortir du bain galvanoplastique que pour être rincée à l'eau distillée et portée dans l'élément. La moindre oxydation amène en effet une variation de la force électromotrice, et de plus l'altération de la surface se produit avec une grande facilité. Les nombres suivants ont été obtenus dans une expérience où l'électrode de cuivre soigneusement recouverte d'une pellicule électrolytique était oxydée superficiellement par des expositions successives à l'air.

Force électromotrice
de l'élément.

Cuivre parfaitement pur, non oxydé.	1,072 volt.
— légèrement oxydé, taches brunes.	1,076 —
— plus oxydé.	1,082 —
— couvert d'une couche d'oxyde brun noirâtre	1,089 —
— nettoyé, revêtu d'une nouvelle pellicule électrolytique rosée	1,072 —

Quant au zinc pur, il est douteux que l'amalgamation modifie ses propriétés en pareil cas, pourvu que le mercure soit pur. Si l'un des deux métaux, zinc ou mercure, est impur, on rencontre des variations irrégulières.

Tandis que l'oxydation du cuivre paraît élever la force électromotrice de l'élément, celle du zinc l'abaisse. En outre, le plus faible dépôt de cuivre sur le zinc, dû à la diffusion du sel de cuivre, amène une chute de 2 à 3 p. 100.

La densité relative des solutions a une certaine influence. Si elle est la même pour les deux solutions, la force électromotrice, les électrodes employées étant bien entendu identiques, demeure constante ou ne subit que des variations inappréciables. D'autre part, quand la dissolution de sulfate de cuivre est plus dense que la dissolution de sulfate de zinc, la force électromotrice reçoit un accroissement et inversement elle subit une diminution lorsque l'ordre des densités est interverti.

Ces faits sont mis en évidence, au moins quand la densité varie depuis 1,01 jusqu'à celle correspondant à la saturation, dans les deux tableaux suivants que nous empruntons à un mémoire de M. A. Wright (*) sur l'affinité chimique et la force électromotrice.

(*) A. Wright. *On the determination of chemical affinity in terms of Electromotive Force. Philosophical Magazine*, 5^e série, vol. XIII, 1882, p. 265. Dans ces travaux du Dr A. Wright, la force électromotrice de l'élément Clark, pris comme terme de comparaison, était considérée comme égale à 1,457 volt.

**Accroissement de la densité de la dissolution de sulfate de zinc
par rapport à celle de la dissolution de sulfate de cuivre.**

DENSITÉ DES SOLUTIONS.		NATURE de la plaque de cuivre.	FORCE ÉLECTROMOTRICE DE L'ÉLÉMENT À 18°.		
Sulfate de zinc.	Sulfate de cuivre.		Observée.	Précédemment obtenue pour des solutions d'égales densités.	Différence.
1,445	1,010	Électrolytique. Grattée.	1,099	1,114	0,015
			1,107	1,120	0,013
1,175	1,050	Électrolytique. Grattée.	1,102	1,114	0,012
			1,108	1,120	0,012
1,260	1,050	Électrolytique. Grattée.	1,096	1,114	0,018
			1,103	1,120	0,017
* 1,395	1,010	Électrolytique. Grattée.	1,077	1,114	0,037
			1,086	1,120	0,034
* 1,395	* 1,175	Électrolytique. Grattée.	1,097	1,114	0,017
			1,104	1,120	0,016

**Accroissement de la densité de la dissolution de sulfate de cuivre
par rapport à celle de la dissolution de sulfate de zinc.**

1,010	1,090	Électrolytique. Grattée.	1,129 1,135	1,114 1,120	0,015 0,015
1,010	* 1,175	Électrolytique. Grattée.	1,132 1,141	1,114 1,120	0,018 0,021
1,050	* 1,175	Électrolytique. Grattée.	1,126 1,133	1,114 1,120	0,012 0,013
1,090	* 1,175	Électrolytique. Grattée.	1,123 1,128	1,114 1,120	0,009 0,008

* Solution à peu près saturée à la température ordinaire.

Des expériences ultérieures de MM. Wright et Thompson(*) ont confirmé les conclusions précédentes;

(*) A. Wright et C. Thompson. *On the determination of chemical*

ils ont trouvé que l'augmentation ou la diminution de force électromotrice pouvait atteindre pour un élément Daniell jusqu'à 6 centivolts, c'est-à-dire environ 5 p. 100 de la valeur totale; c'est ce qui arrive suivant qu'on prend une solution très concentrée de l'un des sels et très diluée de l'autre, ou *vice versa*; les éléments contenant des chlorures de zinc et de cadmium présentent des différences du même genre s'élevant à 30 centivolts.

M. J. - A. Jenkin a vérifié que l'effet des variations de température était extrêmement faible. Deux éléments ayant été préparés d'une manière identique, l'un fut plongé dans un bain à 20 degrés et l'autre maintenu à 0 degré dans la glace fondante. La même paire d'électrodes était plongée alternativement dans l'un et dans l'autre. Voici les résultats :

Élément à 20°	Élément à 0°
F. E. M.	F. E. M.
1,081	1,082
1,079	1,082
1,079	1,082
1,078	1,083

La différence moyenne est de 3 millièmes seulement en faveur de l'élément à 0 degré; ce n'est guère que le 1/5 de la variation subie par l'élément L. Clark pour le même écart de température de 20 degrés.

Il est douteux néanmoins qu'une égale confiance doive être accordée sur ce point aux éléments dont les dissolutions seraient d'un titre très faible; M. Bouty (*), en effet, étudiant les forces électromotrices thermo-

affinity in terms of Electromotive Force. Philosophical Magazine, 5^e série, vol. XVII, 1884, p. 282.

(*) E. Bouty. *Phénomènes thermo-électriques et électro-thermiques au contact d'un métal et d'un liquide. Journal de Physique, 1880, p. 229.*

électriques au contact d'un métal et d'un liquide, a observé que si le coefficient thermo-électrique (force électromotrice thermo électrique) était en général dans de larges limites indépendant de la concentration du liquide, les résultats devenaient très irréguliers quand on diminuait la proportion du sel dissous au delà d'une certaine limite ; M. Bouty, à propos d'expériences faites sur le zinc amalgamé et divers sels de zinc, cite la valeur 1,05 comme limite inférieure de la densité. Il est peu vraisemblable que ces variations irrégulières soient les mêmes pour les deux combinaisons métalliquide intervenant dans l'élément Daniell ; dès lors celui-ci, monté avec des dissolutions trop faibles, donnerait probablement aux diverses températures des forces électromotrices ne suivant aucune loi bien définie.

Les recherches précédentes, relatives aux éléments en circuit ouvert, se trouvent heureusement complétées par d'anciennes expériences de M. A. Wright sur l'élément Daniell en circuit fermé (*).

Quand un élément Daniell comprend des électrodes (zinc et cuivre) plongeant dans des dissolutions des sulfates correspondantes de même densité, et si l'intensité du courant ne dépasse pas 8 microampères par centimètre carré, la force électromotrice ne subit pas de diminution appréciable ; on peut même quelquefois doubler l'intensité sans que la chute dépasse 0,001 volt, c'est-à-dire 0,1 p. 100 de la valeur.

Voici d'ailleurs un tableau renfermant les résultats numériques de quelques observations :

(*) Dr C. R. A. Wright. *On the determination of chemical affinity in terms of Electromotive Force*. *Philosophical Magazine*, 5^e série, vol. XIII, 1882, p. 267.

<i>Plaques de zinc . . .</i>	I. Métal pur gratté.	II. Métal pur poli.	III. Métal du commerce, gratté.	IV. Recouvert d'une pellicule de cuivre par l'immersion dans une solution faible de sulfate de cuivre.	V. Métal pur amalgame.	VI. Métal pur amalgame.	VII. Métal pur amalgame.
<i>Plaques de cuivre . . .</i>	Couche électrolytique fraîche.	Couche électrolytique fraîche.	Couche électrolytique fraîche.	Couche électrolytique fraîche.	Métal électrolytique complètement amalgamé.	Couche électrolytique fraîche.	Métal électrolytique complètement amalgamé.
<i>Liquides entourant le zinc</i>	Sulfate de zinc. Densité 1,42.	Sulfate de zinc. Densité 1,42.	Sulfate de zinc. Densité 1,10.	Sulfate de zinc. Densité 1,10.	Sulfate de zinc. Densité 1,42.	Acide sulfurique étendu. Densité 1,045.	Acide sulfurique étendu. Densité 1,045.
<i>Résistance intérieure de l'élém. . . .</i>	110,2	130,0	90,5	50,4	110,15	40,41	40,2
<i>F. E. M. maxima. . .</i>	1°,098	1°,003	1°,091	1°,050	1°,094	1°,103	1°,096
CHUTE OBSERVÉE DANS LA FORCE ÉLECTROMOTRICE							
<i>DENSITÉ DU COURANT (rapportée au cm²).</i>							
En unités C. G. S.							
En micro-ampères.							
10	...	...	0,001	0,001	...	0	...
20	...	...	0,006	0,006	...	0,003	...
50	0,009	0,010	0,013	0,014	0,005	0,006	0,003
100	0,018	0,021	0,019	0,018	0,011	0,009	0,016
200	0,025	0,032	0,028	0,028	0,023	0,014	0,024
500	0,038	0,049	0,044	0,046	0,048	0,027	0,050
1000	0,052	0,069	0,056	0,060	0,083	0,041	0,082
2000	0,082	0,101	0,085	0,087	0,134	0,063	0,120
3000	0,106	0,130	0,107	0,110	0,174	0,085	0,160
5000	0,159	0,179	0,151	0,155	0,223	0,125	0,212
7000	...	...	...	...	...	0,162	...

L'électrode cuivre baignait dans une solution de sulfate de cuivre à peu près saturée (densité 1,175); les plaques de zinc et celles de cuivre, de surfaces égales, étaient disposées horizontalement au-dessus l'une de l'autre, les faces non en regard vernies.

Les résultats numériques fournis par M. A. Wright, dans le mémoire d'où est tiré le tableau ci-dessus, ont été obtenus d'une façon générale pendant les quatre premières heures suivant le montage de l'élément; certaines valeurs correspondant aux trente premières minutes environ étaient, en outre, rejetées comme inférieures aux valeurs sensiblement constantes trouvées postérieurement. M. Damien, au cours des expériences sur les piles à un liquide dont nous parlerons plus loin, a constaté un accroissement analogue de la force électromotrice dans les premiers temps de montage; il attribue en partie ce fait à ce que les dissolutions ne mouillent pas immédiatement les électrodes. La façon de procéder de M. J.-A. Jenkin semble le mettre à l'abri de cet inconvénient. Quant aux éléments examinés par M. A. Wright après une journée de montage, ils présentaient, la plupart du temps, une diminution de la force électromotrice; on retrouvait sensiblement les valeurs primitives en remplaçant les plaques en service par d'autres récemment préparées.

Les recherches de M. J.-A. Jenkin ont été faites au point de vue des applications industrielles et l'élément qu'il a imaginé est employé dans certaines usines.

Dans le même ordre d'idées, sir W. Thomson avait aussi proposé au commencement de 1884 un modèle d'élément Daniell plus simple que ceux qu'il avait indiqués précédemment et qui nous semble très pra-

tique, surtout lorsque les mesures ne doivent se répéter qu'à de longs intervalles. C'est en réalité une réduction de ses éléments à auge créés pour les besoins de la télégraphie sous-marine.

Le fond d'une cuvette carrée en cuivre vernie extérieurement correspond au pôle positif et, l'élément monté, baigne dans la dissolution de sulfate de cuivre. Au-dessus, soutenue par de petits cubes isolants à une distance de 1^{cm},5, se trouve une plaque de zinc de 14^{cm},5 de côté, munie vers son centre d'un trou de faible diamètre à travers lequel peut être introduit un entonnoir en verre de forme spéciale ; la plaque de zinc constitue le pôle négatif et plonge dans une dissolution de sulfate de zinc. L'élément se monte de la manière suivante : la plaque métallique étant en place, on verse d'abord directement dans la cuvette la dissolution, moins dense, de sulfate de zinc ; puis l'entonnoir à pavillon très évasé est mis en place et l'on y verse la dissolution la plus dense, celle de sulfate de cuivre. La tige de l'entonnoir, dont le canal central est presque capillaire, est rodée à son extrémité et vient s'appliquer par une surface assez grande, grâce à l'épaisseur de la paroi, sur le fond de la cuvette. Le liquide versé dans l'entonnoir en sortirait donc avec la plus grande difficulté si l'on n'avait eu soin de pratiquer à l'extrémité rodée de la tige, suivant deux diamètres rectangulaires, de petites encoches. Le liquide, à travers les canaux étroits formés par ces encoches et le fond de la cuvette, s'écoule et vient, en s'étalant doucement, baigner la plaque de cuivre sans se mélanger avec la dissolution de sulfate de zinc. Pour assurer autant que possible, en ce qui concerne les liqueurs employées, l'identité de l'élément d'une expérience à l'autre, celles-ci sont

titrées. On en constitue une certaine provision dans des flacons séparés bien bouchés et, après chaque essai, on rejette les liquides qui ont servi. Sir W. Thomson a adopté la densité de 1,02 pour le sulfate de zinc et prend le sulfate de cuivre à saturation. On a là un étalon facilement transportable. La force électromotrice est de 1^v,075.

M. Damien (*) a examiné la force électromotrice des piles à un seul liquide formé par des dissolutions salines. Ce genre d'éléments étant souvent employé dans les recherches électrostatiques, présente un intérêt particulier. Les expériences ont porté sur plus de deux cents couples formés de métaux et de liquides différents, dont la marche a été suivie pendant près d'un an.

M. Damien a employé dans ses mesures l'électromètre de M. Mascart. Un commutateur, formé d'un bloc de bois résineux avec cavités pleines de mercure et d'un certain nombre de ponts métalliques, permettait de faire communiquer les secteurs opposés soit avec les pôles de l'élément de pile à étudier, soit avec ceux d'un étalon Latimer Clark. On connaît (**) la relation entre la force électromotrice de ces étalons et la température : celle-ci différait peu de 16°. A chaque expérience on déterminait la valeur en volts d'une division de l'échelle. Cette manière d'opérer rend les nombres obtenus comparables et indépendants des variations de la pile de charge. Les mesures étaient faites à peu près toutes les semaines pour chaque élément.

Le tableau ci-joint résume les résultats obtenus

(*) *Annales de chimie et de physique*, 6^e série, t. VI, 1885, p. 289.

(**) Alder Wright et C. Thompson. *On the E. M. F. of Clark's cell*. *Philosophical Magazine*, 5^e série, t. XVI, 1883, p. 25.

NATURE DE LA DISSOLUTION.	DENSITÉ à 15°.	COMPOSITION centésimale.	FORCES ÉLECTROMOTRICES APRÈS UN NOMBRE DE JOURS ÉGAL A									
			0	5	12	26	40	91	155	191	290	340
Sulfate de potasse.	1,036	4,5	volt 1,035	volt 0,920	volt 0,889	volt 0,842	volt 0,813	volt 0,761	volt 0,721	volt 0,635	volt 0,629	volt 0,602
— de soude.	1,038	10,0*	1,012	0,938	0,907	0,903	0,890	0,840	0,761	0,653	0,512	0,404
— d'ammoniaque.	1,075	13,1	1,012	0,838	0,632 ¹	"	"	"	"	"	"	"
— de magnésie.	1,035	5,8*	1,047	1,064	1,047	1,053	1,061	1,058	1,056	1,038	1,063	1,051
— d'alumine.	1,135	"	1,050	1,037	1,011 ¹	"	"	"	"	"	"	"
— de zinc.	1,064	9,2*	1,004	1,024	1,018	0,970	0,945	0,940	0,945	0,970	0,976	0,962
Azotate de potasse.	1,061	10	0,717	0,691	0,670	0,627	0,576	0,570	0,560	0,565	0,529	0,518
— de soude.	1,183	25	0,666	0,664	0,656	0,599	0,585	0,580	0,589	0,604	0,579	0,562
— d'ammoniaque.	1,081	14,7	0,700	0,362 ¹	"	"	"	"	"	"	"	"
— de baryte.	1,028	3,3	0,725	0,710	0,700	0,690	0,633	0,660	0,602	0,584	0,611	0,597
— de strontium.	1,088	10	0,745	0,750	0,723	0,686	0,669	0,630	0,600	0,537	0,528	0,517
Carbonate de potasse.	1,061	6,8	0,203	0,088	0,074	0,056	0,050	0,039	0,031	0,021	0,020	0,018
— de soude.	1,046	11	0,214	0,140	0,080	0,070	0,061	0,058	0,051	0,038	0,040	0,032
Chlorure de potassium.	1,077	12	0,788	0,916	0,921	0,888	0,801	0,805	0,771	0,797	0,794	0,781
— de sodium.	1,061	8,5	0,805	0,914	0,915	0,895	0,840	0,723	0,614	0,578	0,571	0,532
— d'ammonium.	1,039	13	0,845	0,853 ¹	"	"	"	"	"	"	"	"
— de baryum.	1,110	12	0,782	0,803	0,811	0,884	0,927	0,902	0,853	0,788	0,802	0,767
— de calcium.	1,212	23	0,743	0,673	0,682	0,683	0,675	0,683	0,676	0,680	0,702	0,673
— de zinc.	1,384	37,5	0,746	0,750	0,785	0,740	0,744	0,602	0,325	0,147	0,225	0,302
Iodure de potassium.	1,169	20	0,591	0,579	0,437 ²	"	"	"	"	"	"	"
Bromure de potassium.	1,112	14,5	0,735	0,863	0,860	0,841	0,819	0,782	0,603	0,641	0,702	0,653
Eau pure.	"	"	0,916	0,737	0,673	0,558	0,369	0,380	0,403	0,427	0,488	0,433
Eau ordinaire.	"	"	0,811	0,802	0,749	0,653	0,609	0,604	0,680	0,676	0,643	0,625

* Les astérisques indiquent une composition se rapportant au sel hydraté.

(1) Cuivre rongé.

(2) Dépôt abondant sur le zinc.

pour les éléments zinc-cuivre-dissolution; les autres combinaisons n'ont fourni pour la pratique que des solutions négatives.

On voit que l'élément zinc-cuivre-sulfate de magnésie a été de beaucoup le plus constant; la force électromotrice, après quelques oscillations au début, s'est fixée entre 1^v,06 et 1^v,04; en circuit fermé, au contraire, la force électromotrice tombe rapidement, à moins qu'on n'interpose entre les pôles une résistance considérable, 20.000 ω par exemple.

Pour cet élément, la concentration de la dissolution fait varier la force électromotrice de 1^v,043 à 1^v,063, les dissolutions contenant de 1 à 25 p. 100 de sel anhydre.

Dissolutions.	Densité à 15°.	Titre.	Force électromotrice.
1	1,010	1,2	1,048
2	1,035	3,1	1,052
3	1,151	14,1	1,050
4	1,200	18,2	1,063
5	1,247	21,9	1,047
6	1,288	25,0	1,043

Comme il était naturel, d'après l'objet qu'on se proposait, les mesures dans toutes ces expériences étaient prises plusieurs heures seulement après la confection de l'élément.

La température a peu d'influence : entre 6° et 35°, les valeurs extrêmes obtenues ont été 1^v,052 et 1^v,068; les variations ne suivaient d'ailleurs aucune loi régulière.

L'élément zinc-cuivre-sulfate de magnésie semble donc offrir de sérieux avantages pour certaines expériences et convenir en particulier mieux que l'élément eau-zinc-cuivre pour constituer une pile de charge dans des essais prolongés avec l'électromètre à quadrants.

G. T.

SUR LES ORIGINES DE LA GUTTA-PERCHA

Les documents que je sou mets aujourd'hui aux lecteurs des *Annales* ont pour objet de relier l'un à l'autre deux mémoires précédemment publiés dans ce recueil, mon rapport à M. le Ministre des postes et des télégraphes sur les origines de la gutta-percha (sept.-oct. 1883), et celui de M. le Dr Burck sur son exploration dans les Padangsche Bovenlanden (sept.-oct. 1885). Le premier de ces travaux, résultat d'une exploration poursuivie sur la côte orientale de Sumatra, concluait à l'existence d'un certain nombre d'arbres à gutta désignés par leurs noms indigènes, et recommandait surtout les espèces dites *Mayang Derrian*, *Mayang Batou* et *Gutta Sundek*. Il indiquait aussi les conditions de sol et de climat qui avaient paru le plus désirables pour des essais de culture. Le second, œuvre d'un botaniste distingué, se rapportait aux espèces existant sur la côte occidentale de Sumatra, en donnait la description scientifique, fixait la valeur industrielle des différentes sortes, enfin définissait les diverses circonstances favorables à la croissance de ces arbres; depuis, il a été complété par une brochure publiée à Leyde (E.-J. Brill, 1885): « Sur les Sapotacées des Indes néerlandaises et les origines botaniques de la gutta-percha. » Il était du plus grand intérêt de vérifier si les espèces reconnues par les deux explo-

rateurs étaient identiques, si surtout les produits de qualité supérieure étaient attribués par eux à la même plante. A cet effet, je m'empressai de me mettre en rapport avec M. le D^r Burck, lui signalant les résultats que j'avais obtenus en 1881, et lui demandant les moyens de les comparer aux siens. Le savant hollandais eut l'obligeance de répondre par la lettre reproduite ci-dessous, en y ajoutant des échantillons de *Palaquium oblongifolium* et de *Payena Leerii*, dont nous donnons plus loin les figures.

Lettre de M. le Docteur Burck.

Buitenzorg (Java), 13 déc. 1885.

« Je viens d'achever la lecture de votre rapport fort intéressant sur les origines de la gutta-percha, que vous avez eu la bienveillance de m'envoyer. J'ignorais qu'après l'étude de M. le D^r Beauvisage il avait paru quelque chose sur ce sujet.

« Dans le temps que vous faisiez vos recherches à Sumatra, je ne me trouvais pas encore aux Indes ; c'est peut-être la cause que je ne savais rien de votre voyage et de vos recherches. Je regrette beaucoup de n'avoir pas connu votre travail ; je n'aurais pas manqué de mentionner les résultats obtenus par vous, d'autant plus que vos observations sur la valeur industrielle des divers produits sont du plus haut intérêt. Comme botaniste je ne suis pas au courant de ce que l'industrie exige de la gutta-percha, et ce n'était qu'avec une grande réserve que je disais quelque chose sur la valeur industrielle de ces produits. Le jugement d'un ingénieur électricien au courant du traitement industriel de cette matière m'aurait été d'un grand appui.

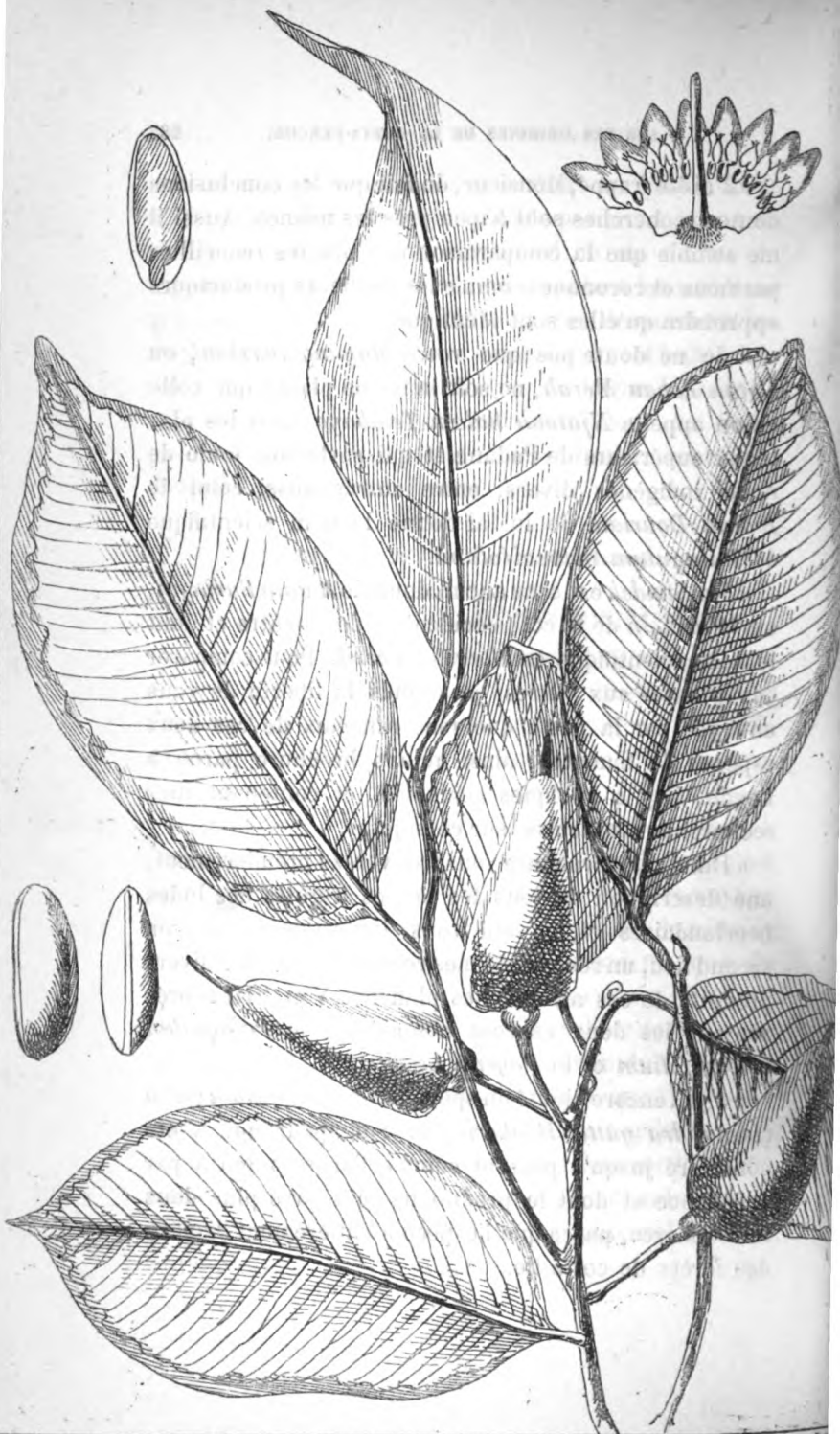
« J'ai été frappé, Monsieur, du fait que les conclusions de nos recherches sont à peu près les mêmes. Aussi il me semble que la comparaison des plantes recueillies par nous et reconnues comme les meilleurs producteurs apprendra qu'elles sont identiques.

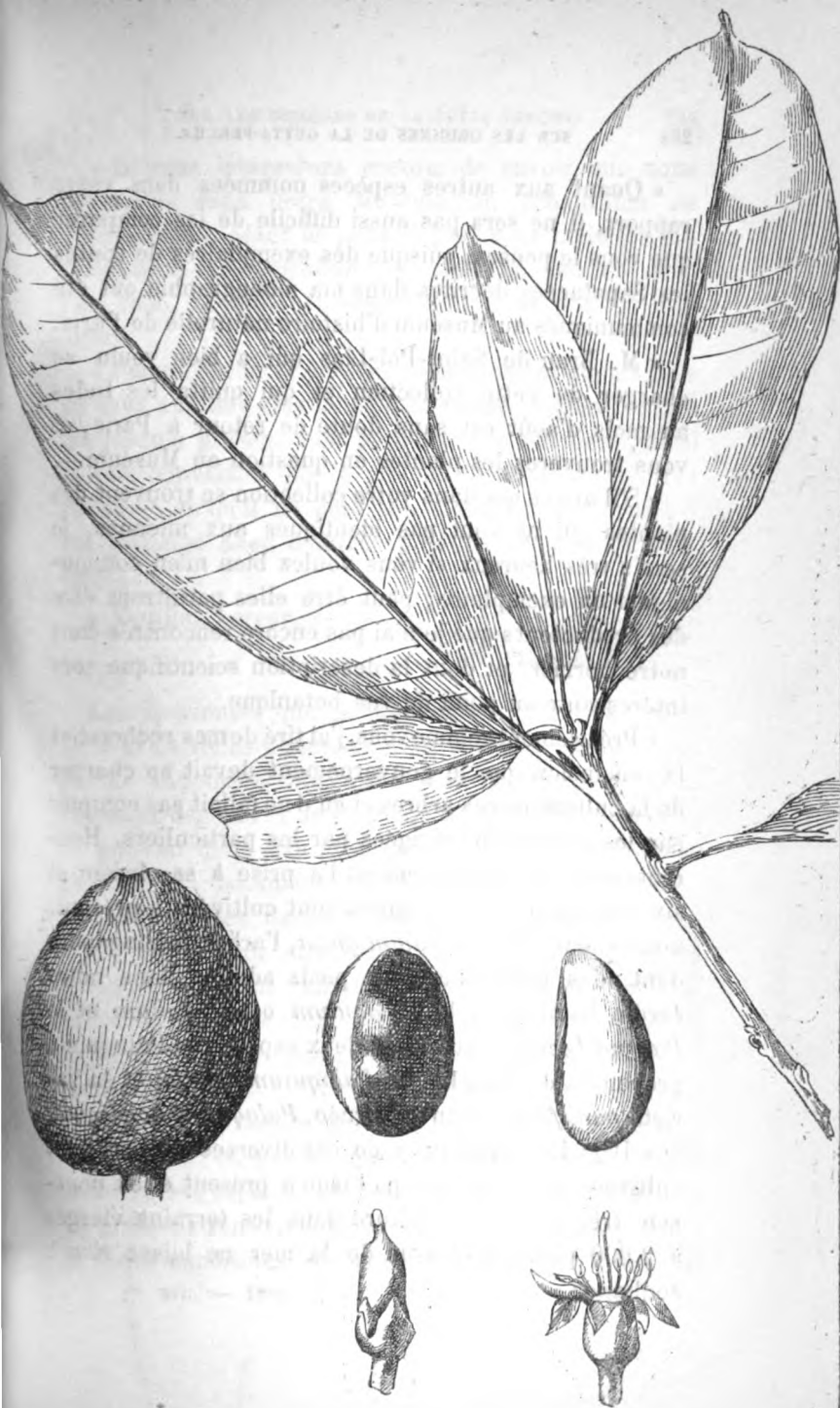
« Je ne doute pas que votre *Mayang Derrian*, ou *Getah Taban Merah*, ne soit la même plante que celle qu'on appelle *Njatouh Balam Tembaya* dans les plateaux supérieurs de Padang et qui porte une foule de noms indigènes divers, entre autres aussi celui de *Balam Dourian*. Je lui ai donné le nom scientifique de *Palaquium oblongifolium*.

« Le *Sundek* est sans aucun doute le *Balam Baringin*, ou *Waringin* de la côte occidentale de Sumatra et dont le nom scientifique est *Payena Leerii*. Pour comparer ces plantes aux vôtres, je prends la liberté de vous envoyer par la poste quelques rameaux de ces deux espèces de Sumatra, ainsi qu'une brochure parue à Leyde, il y a quelques semaines, et contenant mes recherches ultérieures sur ce sujet.

« Dans cette brochure vous trouverez : premièrement, une description de tous les arbres à gutta des Indes néerlandaises et, ce qui vous intéressera plus, en second lieu, un résumé de mes recherches sur les divers produits de ces arbres. Les planches V et VIII représentent les deux espèces nommées : le *Palaquium oblongifolium* et le *Payena Leerii*.

« J'y ai encore ajouté un spécimen du *Palaquium gutta* (*Isonandra gutta Hookerii*) de Singapour qui a été considéré jusqu'à présent comme l'arbre à gutta par excellence et dont le produit ne se trouve plus dans le commerce, parce que l'espèce a entièrement disparu des forêts de cette île.





« Quant aux autres espèces nommées dans votre rapport, il ne sera pas aussi difficile de les comparer que vous le pensez, puisque des exemplaires de toutes les Sapotacées décrites dans ma monographie ont été communiqués au Muséum d'histoire naturelle de Paris.

« M. Brau de Saint-Pol-Lias qui a bien voulu se charger de cette collection et qui quitta les Indes au mois d'août est sans doute de retour à Paris, et vous trouverez les plantes en question au Muséum.

« S'il arrive que dans votre collection se trouvent des plantes qui ne sont pas identiques aux miennes, je serais très heureux si vous voulez bien m'en communiquer un exemplaire ; peut être elles paraîtront être des producteurs que je n'ai pas encore rencontrés dans notre herbier, et dont la description scientifique sera intéressante au point de vue botanique.

« Précisément comme vous, j'ai tiré de mes recherches la conclusion que le gouvernement devait se charger de la culture de ces arbres et qu'il ne fallait pas compter sur les plantations dirigées par les particuliers. Heureusement le gouvernement l'a prise à sa charge et six espèces d'arbres à gutta sont cultivées à présent, notamment : le *Palaquium gutta*, l'arbre de Singapore dont nous possédons deux pieds adultes dans notre Jardin botanique ; le *Palaquium oblongifolium* et le *Payena Leerii* de Sumatra ; deux espèces de *Palaquium* provenant de Bangka, le *Palaquium Treubii* et sa variété *parvifolia* ; et un de Bornéo, *Palaquium borneense*.

« Déjà 4.000 plantules de ces diverses espèces sont cultivées en plein champ. Jusqu'à présent elles poussent très bien et la culture dans les terrains vierges à 2.000 pieds au-dessus de la mer ne laisse rien à souhaiter.

« Il vous intéressera encore de savoir que nous possédons dans notre Muséum un échantillon de gutta-percha, étant le produit pur, sans mélange, du *Palaquium oblongifolium*, recueilli à Bornéo dans l'an 1856, et que cet échantillon n'est pas du tout altéré.

« J'emploie encore presque journellement depuis plus de deux ans une cravache de la même matière et elle n'a jusqu'à présent rien perdu de son élasticité, ainsi je suis convaincu que le produit de cet arbre est très résistant et qu'il ne perd son élasticité que quand il est mélangé avec d'autres produits de qualité inférieure.

« Veuillez agréer, etc.....

« W. Burck. »

Les spécimens que m'envoyait le Dr Burck, ceux qu'il avait remis directement au Muséum, et ceux que j'avais rapportés moi-même, ne consistaient qu'en rameaux dépourvus de fleurs ou de fruits : la question ne pouvait donc être attaquée par les procédés habituels de la botanique, mais seulement par l'étude anatomique des tissus, comprenant l'examen au microscope de leur structure, et la détermination de quelques réactions chimiques caractéristiques des matières remplissant leurs cellules. Ce procédé avait en outre le double avantage de fournir, par la nature des produits minéraux trouvés dans les tissus, des indications sur la nature des terrains où les échantillons avaient crû ; et, par les particularités de conformation des diverses espèces, de tirer des plantes elles-mêmes de précieux renseignements sur leurs besoins propres et leurs conditions spéciales d'existence. Un des sa-

vants les plus qualifiés pour ce genre de recherches, M. Vesque, du Muséum d'histoire naturelle, voulut bien, à ma demande, se charger de cette étude délicate, et en consigner les résultats dans la note suivante :

Note de M. Vesque.

Je viens de terminer la petite étude anatomique du genre *Palaquium*. En voici les résultats :

Les plantes de M. Burck sont au nombre de 11.

Dans ces onze formes, je ne vois que 7 espèces, dont une est une espèce collective comprenant probablement un très grand nombre de variétés reliées entre elles par des formes intermédiaires.

Votre plante de *Gutta Sundek* est le *Paena Leerii*, comme vous le pensiez. C'est probablement, malgré les doutes de Clarke, l'espèce que les Anglais cultivent à Peradenia et à Heneratgoda. Tous les tissus renferment une matière (matière colorable de Payen?) qui noircit par les alcalis, sans doute en absorbant de l'oxygène.

1^{re} ESPÈCE. Toutes les autres plantes, dont vous m'avez remis des échantillons, sont des *Palaquium* de l'espèce collective à laquelle je fais allusion.

a. Votre plante de *Mayang Derrian* est le *P. oblongifolium Burck*. L'échantillon provient d'un endroit plus éclairé que celui de Burck, ou bien ce dernier a été pris sur un rameau ombragé.

La plante craint les sécheresses, se contente d'un jour médiocre. Dépôt d'oxalate de chaux dans les feuilles. Latex abondant, incolore, transparent. Pas de coloration avec les alcalis.

b. L'échantillon de *Mayang Batou* se rapproche le

plus du *P. calophyllum* Pierre, mais l'identité n'est pas parfaite : M^r Pierre en ferait une espèce.

Mieux armé contre la sécheresse ; éclairage un peu plus intense que pour la forme précédente.

c. Celui de *Mayang Djerindjing* ne se trouve pas davantage parmi les plantes de Burck. Il est voisin du *P. oblongifolium*.

d et e. Les deux échantillons de *Mayang Kartas* et de *Mayang Korsik* sont identiques. Ils sont si mal conservés qu'il n'en reste que les deux épidermes et les nervures, malgré la belle apparence des feuilles. Il m'a été impossible d'en faire l'autopsie complète. Dans tous les cas, forme voisine de la précédente, mais suffisamment distincte pour que les botanistes de l'école jordanienne en fassent une espèce distincte de celle de Burck.

f. Échantillon de *Mayang Sikkum* : toujours de la même espèce collective, cette plante ressemble le plus, sans qu'il y ait identité, au *P. Selindit* Burck. La plante est relativement bien armée contre les courtes sécheresses ; éclairage très médiocre. Votre échantillon provient d'un terrain suffisamment calcaire, tandis que celui de Burck n'a pu déposer un seul cristal d'oxalate de chaux.

En résumé, à l'exception des *Payena*, toutes vos plantes appartiennent à des formes différentes (sous-espèces) d'une seule et même espèce du genre *Palaquium*.

Je rangerai dans ce même groupe les espèces suivantes :

P. Selindit Burck (Sumatra).

P. Vrieseanum Burck (Sumatra).

P. Oblongifolium Burck (Sumatra).

P. Calophyllum Pierre (Bornéo) et, comme type assez aberrant, *P. argentatum* Pierre (Célèbes).

2° ESPÈCE. *P. Gutta*, voisin du précédent (Singapour).

3° ESPÈCE. *P. Pierrei* Burck, renferme dans l'épiderme et dans l'hypoderme une matière qui se colore en jaune d'or par l'ébullition dans l'eau, et qui est soluble dans l'eau (Bornéo).

4° ESPÈCE. *P. Bancanum* Burck (Banca).

5° ESPÈCE. *P. Xantochymum* Pierre (Bornéo).

6° ESPÈCE. *P. Celebicum* Burck (Célèbes).

Ces deux dernières développent dans l'eau bouillante une matière colorante rose orangé soluble dans l'eau.

7° ESPÈCE. *P. Oxleyanum* Burck (Bornéo), très différent des autres.

Tels sont les résultats anatomiques.

.

Vesque.

De cette étude, on peut tirer quelques conclusions pratiques intéressantes :

En premier lieu, les deux espèces industrielles, si je puis dire, celles que le D^r Burck place au premier et au second rang, celles que je classe moi-même première et troisième, sont parfaitement, scientifiquement déterminées, et dès maintenant on possède à leur égard assez de données certaines pour pouvoir, si l'on veut, en entreprendre la culture. L'espèce que je mets en seconde ligne, et qui fait défaut dans la collection du D^r Burck, se rapproche assez du n° 1 pour qu'on puisse lui étendre les mêmes conclusions.

Les *Palaquium* originaires de Sumatra sont plus voisins les uns des autres que d'aucun de ceux des

autres provenances; il semble qu'il y ait dans les diverses variétés, des groupes géographiques, le groupe de Singapour à peu près détruit, ceux de Sumatra, de Banca, de Bornéo, et enfin, pour des sortes plus éloignées encore, moins répandues et moins importantes commercialement, ceux de Célèbes et d'Amboine. On ne peut s'étonner qu'à ces différences botaniques correspondent aussi des différences de produit; et, comme depuis longtemps, le classement est fait entre les diverses sortes livrées au commerce, on est conduit à croire qu'il ne suffira pas d'apporter plus de soins à la récolte pour tirer de bons produits des régions qui n'en fournissent actuellement que de médiocres. Au contraire, on pourra craindre que l'infériorité du produit ne résulte de la nature de l'arbre producteur, et que la zone d'habitat des espèces les meilleures ne soit resserrée entre des limites plus étroites encore qu'on ne l'avait supposé : la destruction de ces sortes n'en serait que plus imminente. On ne saurait donc trop se féliciter des succès obtenus par les savants de Buitenzorg dans leurs efforts pénétrants pour créer une culture méthodique de ces plantes utiles; on ne saurait apprécier trop haut le service qu'ils ont ainsi rendu à l'industrie.

G. SÉLIGMANN-LUI.

CHRONIQUE.

Nouveaux dispositifs galvanométriques de M. d'Arsonval.

(Extrait du *Bulletin de la Société de physique.*)

Séance du 19 février 1886.

M. d'ARSONVAL expose une méthode optique pour la mesure des faibles déviations angulaires.

Ce procédé est surtout applicable aux appareils de mesure électrique.

Il consiste essentiellement à renverser le procédé ordinaire de lecture avec la lunette et le miroir plan (procédé de Weber ou de Poggendorff).

Au foyer conjugué de l'objectif qui donne d'habitude l'image de l'échelle plus petite que l'objet, M. d'Arsonval place une échelle transparente photographiée divisée en dixièmes et vingtièmes de millimètre. L'objectif de la lunette donne une image agrandie de cette échelle, image qui, après avoir été réfléchie par le miroir du galvanomètre, vient se former au-dessus de cet objectif. On l'observe et on l'agrandit encore en l'examinant avec l'oculaire, qui porte comme d'habitude un réticule servant de repère.

Au lieu d'un miroir plan, difficile à obtenir, M. d'Arsonval emploie pour le galvanomètre un miroir concave à long foyer. Pour éviter la double image, le miroir n'est pas à faces parallèles; le rayon de courbure de la face antérieure est plus petit que celui de la face postérieure qui seule est argentée. On obtient ainsi des images d'une netteté et d'une pureté parfaites.

Le tout a été disposé par M. Lutz sur un pied, de façon à pouvoir transformer instantanément l'appareil soit en une

échelle transparente Carpentier, soit en une lunette Poggen-dorff.

On a ainsi réuni dans le même appareil tous les procédés de lecture à l'aide de l'échelle et du miroir.

M. d'Arsonval présente ensuite les dispositifs galvanométriques nouveaux.

Le premier dispositif a pour but de parer au déplacement du zéro du galvanomètre sous l'influence du magnétisme terrestre.

Pour arriver à ce résultat, M. d'Arsonval place à 0^m,50 environ du miroir du galvanomètre un second miroir porté lui-même sur une aiguille aimantée mobile autour d'un fil de cocon. Les surfaces réfléchissantes des miroirs sont en face l'une de l'autre. On observe l'image de l'échelle divisée après qu'elle s'est réfléchi sur les deux miroirs.

Les variations du magnétisme terrestre affectent également les deux miroirs et les font tourner du même angle. Or, par suite de leur disposition même, la déviation du rayon lumineux se trouve annulée si les miroirs tournent du même angle.

L'appareil ne peut donc être affecté que par la rotation du galvanomètre sous l'influence d'un courant, c'est-à-dire précisément par la déviation qu'il s'agit de mesurer. On a ainsi un zéro fixe, à la condition, bien entendu, de se servir de la boussole des tangentes, c'est-à-dire d'un galvanomètre non compensé.

Le second dispositif, appelé par M. d'Arsonval *thermo-radiomètre*, est destiné à la mesure de la chaleur rayonnante pour remplacer l'appareil de Melloni.

Il se compose essentiellement d'un galvanomètre apériodique du même auteur dans lequel on remplace le cadre galvanométrique mobile par un cadre formé de deux métaux (antimoine-bismuth, par exemple, ou cuivre maillechort). On suspend ce cadre dans le champ magnétique par un fil de cocon, de façon que les soudures soient sur l'axe de rotation.

Une des soudures (l'inférieure) est garantie contre le rayonnement; la supérieure reçoit l'influence de la source.

L'équipage est orienté soit par un brin de fil de fer, soit par une suspension bifilaire. La moindre différence de tempéra-

ture des soudures produit un courant qui fait dévier l'équipage noyé dans le champ magnétique. Cet instrument est donc à la fois une pile thermo-électrique et un galvanomètre. Il est extrêmement sensible et absolument apériodique. La lecture de la déviation se fait au moyen d'un miroir porté par l'équipage. La capacité calorifique et le poids de l'instrument sont ainsi réduits à leur minimum.

Enfin, M. d'Arsonval présente un modèle de galvanomètre Wiedemann construit par la maison de Branville sur ses indications.

M. d'Arsonval a modifié plusieurs points de cet appareil et entre autres l'équipage magnétique, qui est à volonté astatique. Il se compose de deux anneaux aimantés situés dans le même plan l'un au-dessus de l'autre. L'anneau supérieur, qui est un peu plus fort, peut tourner autour de son centre de figure dans le plan des deux aimants.

On modifie ainsi le bras de levier du couple terrestre et l'on arrive à un astatisme parfait.

Cet instrument est de plus absolument apériodique, il va prendre sa position d'équilibre sans oscillations. Enfin, grâce à la mobilité des bobines, l'instrument devient universel. Il peut mesurer des courants variant de $\frac{1}{10000}$ de volt à 100 volts et de $\frac{1}{10000}$ d'ampère à 100 ampères et au-dessous avec un jeu de bobines approprié.

De plus il est différentiel, ce qui est très commode pour la mesure des résistances. D'après M. d'Arsonval, cet instrument est de tous les galvanomètres à aimant mobile le plus commode et le plus pratique.

M. LE CHATELIER décrit à ce propos un dispositif qu'il emploie pour augmenter la précision des mesures galvanométriques. Il remplace l'échelle fixe par un micromètre à fils mobiles portant deux fils croisés sous un angle très petit et rendus visibles à l'aide d'un éclairage ordinaire. Une loupe grossissant cinq fois permet d'observer le micromètre. La lecture se fait en projetant l'une au-dessus de l'autre l'intersection des fils et celle de leurs images et amenant à la forme symétrique du losange le parallélogramme ainsi constitué. Cette disposition permet de lire le $\frac{1}{100}$ de millimètre avec l'éclairage ordinaire et les miroirs habituels du galvanomètre.

M. CORNU, au sujet de la communication de M. d'Arsonval, signale l'importance que présente pour la facilité de la lecture d'une échelle l'écartement angulaire des divisions. Il y a lieu, pour chaque observateur particulier, de choisir expérimentalement l'espacement à donner aux traits pour se trouver dans les conditions les plus favorables.

Séance du 2 avril 1886.

M. D'ARSONVAL présente à la Société un galvanomètre à circuit mobile, de haute sensibilité, qu'il a disposé pour ses recherches physiologiques.

On sait que, dans le galvanomètre Deprez dit à *arête de poisson*, M. d'Arsonval avait eu l'idée de fixer l'arête et de rendre le cadre libre : c'est le galvanomètre Deprez-d'Arsonval. Cet instrument, tel que le construit M. Carpentier, n'est pas assez sensible pour les besoins de la physiologie.

Le nouveau dispositif présenté par M. d'Arsonval consiste à faire mouvoir le cadre galvanométrique dans un champ magnétique formé par deux aimants en fer à cheval opposés par leurs pôles de même nom et bout à bout. Entre les quatre pôles se trouve un bloc de fer doux fixe, destiné à concentrer les lignes de force et à former quatre champs magnétiques agissant sur le cadre d'une manière concordante. Le tout est fixé sur une planchette qui se suspend au mur par un simple clou. Le fil de torsion s'attache au cadre par des vis et à la planchette par un treuil, de façon que son remplacement est des plus faciles.

Dans cet instrument, les champs magnétiques étant rigoureusement d'égale intensité, les déviations sont rigoureusement proportionnelles aux intensités. De plus, on peut changer l'intensité des champs magnétiques, c'est-à-dire la sensibilité de l'instrument, en éloignant les aimants plus ou moins. Ce galvanomètre jouit des mêmes propriétés apériodiques que le premier modèle de l'auteur.

L'instrument présenté à la Société a les constantes suivantes :

Résistance du cadre = 2 ohms

En faisant la lecture au miroir à un mètre avec l'échelle Carpentier,

$$1 \text{ division de l'échelle} = \frac{1}{2\,400\,000} \text{ d'ampère.}$$

Une simple soudure en fer-maillehort donne 30 divisions de l'échelle pour une différence de température de 1°.

Le modèle à fil fin a 2000 ohms de résistance :

$$1 \text{ division} = \frac{1}{70\,000\,000} \text{ d'ampère.}$$

Cette sensibilité devient dix et vingt fois plus grande en employant l'échelle micrométrique décrite à une séance précédente par M. d'Arsonval.

Condensation des fumées par l'électricité statique.

(Extrait du *Bulletin de la Société internationale des électriciens*).

M. O. HEMPEL. — « A la suite de recherches basées sur un phénomène antérieurement révélé par Tyndall, MM. Clark et Lodge sont parvenus à démontrer qu'autour d'un corps possédant une température plus élevée que le milieu ambiant dans lequel il est plongé, il existe une mince zone d'air dégagée de poussières en suspension.

« Il y a quelques mois, M. Lodge, professeur à Liverpool, eut l'idée d'employer l'électricité à la démonstration du phénomène : il obtint des effets inattendus de la décharge électrique produite à haute tension par des machines statiques et appliquée aux fumées et aux poussières de toute nature, contenues dans un récipient d'observation.

« Cette brillante expérience était d'autant plus remarquable que, procédant de la science pure, elle trouvait son application directe à l'industrie métallurgique et que des résultats pratiques furent rapidement obtenus dans le traitement des fumées malsaines et des poussières de plomb de l'usine Walker, Parker et C^{ie}, l'une des plus importantes d'Angleterre.

« Il peut donc être d'une grande utilité, aussi bien au point de vue humanitaire qu'en économie industrielle, de propager l'idée de M. Lodge et, dans ce but, de fournir à l'enseignement, aux techniciens et aux métallurgistes, l'occasion de répéter facilement ces curieuses expériences au moyen d'appareils de démonstration d'une grande simplicité.

« Ce sont des appareils de ce genre que j'ai l'honneur de présenter à la *Société internationale des électriciens*.

« Ils affectent deux formes différentes, selon qu'il s'agit d'étudier les vapeurs à l'état de repos, ou lorsqu'elles sont en mouvement.

« Dans le premier cas, l'appareil se compose d'un récipient cylindrique en verre, percé latéralement de deux ouvertures pour le passage des manchons portant les peignes métalliques que l'on voit à l'intérieur du récipient, et entre lesquels s'échappera l'électricité. L'ensemble est monté sur un socle en bois à trois pieds, dont le plateau circulaire est muni d'une ouverture centrale et dans lequel est disposée une cheminée en tôle pour la production des fumées à essayer. A la partie supérieure du cylindre est fixé un petit tuyau destiné à activer le tirage.

« Pour faire l'expérience, on met en communication, à l'aide de fils ou de chaînes, les deux manches des deux peignes avec les deux pôles d'une machine Tœpler-Voss, Ramsden, Holtz, etc.

« On introduit du papier *nitré* ou de l'amadou allumé, de la fumée de tabac ou bien encore des vapeurs de composés chimiques dans la cheminée; cette fumée monte dans le récipient, et lorsque celui-ci en est entièrement rempli, on met en action la machine d'électricité statique. Presque aussitôt une agitation très grande se manifeste; les fumées tourbillonnent et se tordent, l'opacité diminue rapidement et, la condensation s'effectuant, les fumées disparaissent complètement.

« L'appareil destiné à influencer les vapeurs en mouvement est, comme le précédent, muni d'un fourneau où sont brûlées les matières propres à la production d'abondantes fumées; la cheminée de ce fourneau débouche à la base inférieure d'une boîte parallélépipédique verticale dont deux des côtés opposés

sont en bois et les deux autres en verre, afin de permettre l'observation du phénomène. A la partie supérieure est ajusté un canal horizontal formé par un long tube de verre, lequel pénètre dans une boîte analogue à la première, mais disposée horizontalement et contenant également une paire de peignes; elle est surmontée d'un tuyau d'évacuation muni d'un registre à sa base, qui permet de faire varier la section de tirage. Enfin, l'ascension des fumées est activée par un brûleur à gaz introduit dans le tuyau d'évacuation.

« Les peignes étant reliés aux pôles de la machine électrique et le récipient principal étant rempli, par exemple, de vapeurs provenant de la réaction de l'acide chlorhydrique sur l'ammoniaque, la machine est mise en mouvement. On ne tarde pas alors à voir se produire l'agitation et le tourbillonnement des vapeurs; des flocons de chlorhydrate d'ammoniaque se forment, puis se condensent et se déposent sur les peignes de l'appareil.

« La boîte horizontale a pour mission de recueillir et d'amener la condensation des portions de vapeurs qui auraient échappé à l'action du premier récipient, ce qui a lieu lorsque l'énergie électrique ne répond pas à l'activité du tirage et au développement trop abondant des vapeurs.

« Mais on comprendra qu'il est facile de combiner ces actions dans de telles proportions qu'aucune portion de vapeur ou de fumée ne puisse se soustraire au traitement électrique. »

Sur la variation produite par une élévation de température dans la force électromotrice des couples thermo-électriques.

Par M. H. LE CHATELIER.

Les couples métalliques possèdent, d'après les recherches d'Avenarius et de Tait, une force électromotrice croissant entre 0° et 400° suivant une fonction parabolique des températures absolues des deux soudures

$$E = A(T_1 - T_0) + B(T_1^2 - T_0^2),$$

formule qui peut être mise, lorsqu'une des soudures est maintenue dans la glace fondante, sous la forme simple

$$E = at + bt^2.$$

t , température ordinaire de la soudure chaude; a et b , constantes dépendant de la nature des couples.

Il n'a pas été fait d'observations précises au-dessus de 400° , mais on admet que, dans la plupart des cas, la même loi continue à s'appliquer. Je me suis proposé de soumettre au contrôle de l'expérience cette hypothèse, dont l'exactitude présenterait une très grande importance au point de vue de la mesure des températures élevées par les courants thermo-électriques.

Dans ces recherches, j'ai employé pour l'évaluation des températures les points de fusion d'un certain nombre de métaux, et pour la mesure des forces électromotrices le galvanomètre aperiodique de MM. Deprez et d'Arsonval. Dans l'instrument que j'avais entre les mains, la proportionnalité des intensités aux déplacements de l'image mobile se vérifiait à 1 p. 100 près entre les divisions 10 et 150. Les couples formés de fils de $0^{\text{mm}},5$ de diamètre et 1 mètre de longueur présentaient une résistance inférieure à 1 p. 100 de celle du galvanomètre.

Pour faire les expériences, la soudure du couple recouverte d'un enduit protecteur de magnésie était entourée d'une feuille de métal fusible et placée au centre d'un creuset chauffé dans un four Forquignon. Le point de fusion était indiqué par un arrêt momentané dans le déplacement de l'image mobile du fil.

Il résulte de mes recherches que la loi d'Avenarius et Tait continue à se vérifier au-dessus de 400° avec une approximation égale à celle qu'elle comporte au-dessous, jusqu'à une certaine température limite, variable avec la nature des couples considérés. Il paraît donc vraisemblable que, dans cet intervalle de température, c'est bien là la loi mathématique du phénomène, et que les écarts observés doivent être attribués aux irrégularités bien connues des couples thermo-électriques. Au-dessus de la température limite, la formule établie pour les températures inférieures cesse brusquement de s'ap-

pliquer et doit être remplacée par une seconde formule de même nature dont les coefficients seuls diffèrent. C'est, du moins, ce qui semble résulter des expériences sur les couples platine pur, platine iridié. Avec les autres couples, les expériences ne sont pas assez nombreuses pour permettre de décider avec certitude s'il en est de même. Je l'ai admis *a priori* et suis parti de là pour le calcul des coefficients que je donne ici. Les coefficients a et b sont ceux de l'équation

$$E = at + bt^2,$$

déterminée en traçant sur papier quadrillé la droite

$$\frac{E}{t} = a + bt,$$

représentant le mieux l'ensemble des expériences.

E est exprimée en microvolts.

Numéros d'ordre des couples.	Nature des couples.	Intervalles de température.	Valeur des coefficients	
			a .	1000 b .
1. . . . {	Pt ordinaire. Pd ordinaire. }	De 0° à 1500°	+ 1,4	+ 7
2. . . . {	Pt pur fondu. Pd forgé. }	De 0 à 1500	+ 4,3	+ 7,3
3. . . . {	Pt pur fondu.	De 0 à 1000	— 8,6	— 3,6
	Pt + 10 p. 100 Ir.	De 1000 à 1775	— 12,2	+ 0,6
4. . . . {	Pt pur fondu.	De 0 à 1000	— 11,3	— 5,2
	Pt + 20 p. 100 Ir.	De 1000 à 1775	— 16,8	— 0,2
5. . . . {	Pt pur fondu.	De 0 à 1300	— 4,3	— 4,4
	Pt + 10 p. 100 Rh.	De 1300 à 1775	— 14,5	+ 3,1
6. . . . {	Pt pur fondu.	De 0 à 1500	— 1,3	— 2,4
	Pt + 5 p. 100 Cu.			
7. . . . {	Pt pur fondu.	De 0 à 700	— 16,6	+ 9,6
	Fe forgé.	De 700 à 1000	— 2,5	— 10,5

Le tableau suivant donne, dans une première colonne, les points de fusion admis pour les métaux et, dans les colonnes suivantes, les mêmes températures calculées d'après les expériences faites avec chaque couple. L'écart des températures correspondantes indique le degré d'approximation avec lequel se vérifie la loi étudiée ici. Dans les cas où l'on n'a pu disposer que de deux expériences pour le calcul des coefficients, il n'y a, bien entendu, pas de vérification possible; les tempéra-

tures calculées ont alors été mises entre parenthèses; elles sont nécessairement identiques aux points de fusion correspondants.

	Point de fusion et d'ébullition.	Températures calculées.						.
		1	2	3	4	5	6	7
H ₂ O . .	100°	{ 100° 120	{ 95° 115	{ 90° 110	{ 90° 98	{ 100° 105	"	100°
Ph. . .	330	320	"	320	310	330	330	310
Zn . . .	410	420	{ 400 410 }	430	{ 410 430 }	430	"	"
Al . . .	550	"	"	650	"	660	"	670
Ag . . .	954	940	{ 955 965 }	{ 935 955 }	935	945	945	(955)
Au . . .	1045	1045	1035	1025	1055	1035	"	(1045)
Cu . . .	1055	"	"	1065	1065	1065	"	(1060)
Pd . . .	1500	1490	1540	"	1500	(1500)	1500	"
Pt . . .	1775	"	"	(1765)	1775	(1775)	"	"

On voit par ces chiffres que les écarts entre les températures réelles et les températures calculées ne dépassent pas 20°, et ne diffèrent pas de ceux qu'occasionnent, à une même température, les irrégularités des couples. On peut donc, par ce procédé, obtenir, en se servant d'une formule à deux paramètres, la mesure des températures avec une incertitude de 20° seulement. Cette approximation, qui ne serait pas acceptable aux basses températures, est, au contraire, très satisfaisante pour les températures supérieures à 500°. Ce résultat est obtenu sans prendre aucune précaution spéciale capable d'assurer la régularité des couples.

J'ai, en effet, dans ces expériences, fait intentionnellement varier les conditions capables d'amener quelques perturbations; c'est là ce qui explique les discordances relativement énormes des chiffres obtenus à la température de 100°. Je me proposais d'étudier les causes de ces irrégularités; je reviendrai prochainement sur ce sujet.

(Comptes rendus.

Nécrologie.

M. MELSENS.

La Société belge des électriciens vient d'éprouver une perte cruelle dans la personne de son président d'honneur, M. Melsens, membre de l'Académie des sciences de Belgique, décédé à Bruxelles, le 28 avril dernier, à l'âge de soixante et onze ans, et dont les obsèques ont eu lieu, le 23 avril, en présence d'une foule considérable de parents, d'amis, de savants et de fonctionnaires attristés.

Les travaux de M. Melsens sont nombreux et divers ; ils se rapportent à la médecine, à la chimie industrielle et à la physique ; ils l'ont conduit à des découvertes importantes dont il n'a jamais cherché à tirer parti dans un but personnel. Son travail incessant n'a jamais eu d'autre objet que l'intérêt de la science et de l'humanité.

On connaît son système de paratonnerre, qui consiste à envelopper d'une cage métallique les édifices que l'on veut protéger. L'introduction de tout procédé nouveau rencontre, au début au moins, des résistances passives auxquelles n'échappa pas M. Melsens ; il dut défendre ses idées par de nombreuses et intéressantes publications avant d'arriver à les faire triompher. Son système, adopté d'abord pour l'hôtel de ville de Bruxelles, a reçu depuis de nombreuses applications.

Citons encore son ré-électromètre servant à faire connaître par le sens de l'aimantation d'un barreau d'acier entouré d'une hélice, la direction des décharges d'électricité atmosphérique, qui a été mis en expérience dans un certain nombre de bureaux télégraphiques.

Nous joignons nos regrets à ceux de tous ses collègues et amis.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1886

Juillet - Août

INFLUENCE

DE LA NATURE ET DE LA FORME DES CONDUCTEURS

SUR LA SELF-INDUCTION D'UN COURANT ÉLECTRIQUE.

M. Hughes, en prenant possession du fauteuil présidentiel de la *Société des ingénieurs des télégraphes et électriciens*, de Londres, a exposé le résultat d'expériences qu'il a entreprises sur la self-induction. Cette communication a donné lieu à une importante discussion dont nous allons résumer les principaux points.

L'auteur s'est proposé de rechercher comment varie la self-induction avec la nature et la forme des conducteurs. Il emploie, à cet effet, un appareil qu'il nomme *Pont d'induction* et qui est une combinaison de sa balance avec le pont de Wheatstone.

Un fil de maillechort ADCB, de 2 mètres de longueur, et de 0^{mm},25 de diamètre, forme à la fois les deux branches de proportion et le rhéostat du pont. Le fil à essayer est en AB. Dans les diverses expériences sa

longueur a varié de 10 à 500 centimètres. Entre les points A et C se trouve une dérivation contenant la bobine primaire d'un sonomètre, une pile et une roue

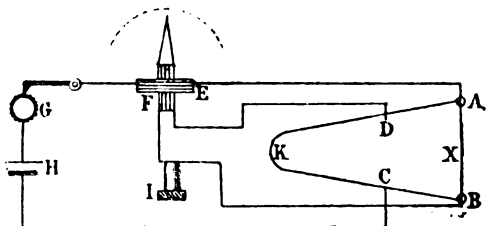


Fig. 1.

interruptrice, ce rhéotome peut donner de 10 à 100 contacts par seconde. Entre D et B se trouve une deuxième dérivation contenant un téléphone et la bobine secondaire du sonomètre. Les contacts C et D sont mobiles.

Rappelons que le sonomètre consiste en deux bobines : l'une est fixe et l'autre est mobile autour d'un diamètre commun aux deux bobines. Un index parcourant un arc divisé permet d'évaluer l'inclinaison qu'on fait prendre à la bobine mobile par rapport à l'autre. Si l'appareil est bien construit, lorsque les cadres sont rectangulaires l'un sur l'autre, les circuits sont sans action l'un sur l'autre. Lorsque l'angle d'écart avec la verticale croît, le coefficient d'induction mutuelle augmente. M. Hughes admet que le coefficient est proportionnel à l'angle.

L'appareil comprenait, en outre, une clef d'inversion qui n'est pas représentée sur la figure, et qui permettait de placer la roue interruptrice soit dans le circuit du téléphone, soit dans celui de la pile.

Avec la première disposition, on peut mesurer la résistance X par la méthode du pont de Wheatstone,

dont elle ne diffère que par la substitution du téléphone au galvanomètre. Avec la seconde, M. Hughes mesure la self-induction par une méthode de réduction à zéro. Après avoir déplacé les contacts mobiles jusqu'à équilibrer la résistance dans la première installation et obtenu ainsi le silence au téléphone, il cherchait à obtenir le même résultat avec le second dispositif en faisant varier l'inclinaison du sonomètre. On voit facilement sur la figure qu'on peut opposer un courant induit dans la bobine secondaire à la portion du courant provenant de la self-induction des circuits du pont qui tend à traverser le téléphone. Or, M. Hughes a admis que, lorsqu'il conservait le même fil de maillechort ADCB et qu'il faisait varier le fil X, la force électromotrice d'induction provenant de ce dernier était mesurée par l'angle d'écart de son sonomètre.

Partant de là, il a été conduit à interpréter ses expériences de la manière suivante :

1° *La résistance des divers conducteurs n'est pas la même pendant le régime variable et pendant le régime permanent.* — C'est-à-dire qu'ayant équilibré une certaine résistance par le premier dispositif, il lui était impossible d'obtenir le silence du téléphone en équilibrant seulement l'induction avec le second au moyen du sonomètre, tandis qu'il y arrivait en faisant varier simultanément le sonomètre et le fil du rhéostat.

2° *La durée et la force des extra-courants dépendent de la nature du métal employé comme inducteur, de son état moléculaire et de sa forme.* — La durée la plus considérable s'obtient avec le fer le plus doux (*). La force croît proportionnellement à

(*) M. Hughes ne dit pas comment il évalue cette durée et rien dans son dispositif expérimental ne paraît l'indiquer.

la longueur (*), mais varie avec le diamètre d'une manière moins simple; elle croit jusqu'à une certaine section et décroît ensuite. Cette section maxima n'est pas la même pour tous les métaux.

Citons ici le tableau des valeurs relatives de la force *e. m.* de l'extra-courant (self-induction) trouvées par M. Hughes pour divers conducteurs de même diamètre (0^m,001) et même longueur (0^m,300).

Fer doux de Suède . . .	100	Cuivre	20
Fer doux puddlé . . .	78	Laiton	13
Fer de Suède	55	Zinc	12
Acier fondu doux . . .	41	Plomb	10
Nickel	34	Maillechort	7
Acier fondu dur	28	Mercure	2
Cobalt	24	Charbon	1

Ces résultats sont en contradiction absolue avec la théorie classique de l'induction, du moins en ce qui concerne les métaux non magnétiques. On verra plus loin que M. F. Weber, *par la même méthode*, a trouvé, au contraire, une concordance parfaite entre l'expérience et la théorie.

3° *La self-induction ne subit pas les mêmes variations dans tous les métaux lorsqu'on change la forme du circuit.* — Ainsi, si l'on considère d'abord deux fils de même longueur, l'un en fer et l'autre en cuivre ayant chacun la forme d'une circonférence de deux mètres de tour, on trouve que la force électromotrice d'induction du fer est 6 fois plus considérable que celle du cuivre. Si on forme avec les mêmes conducteurs des circuits rectilignes tels que le fil de fer de retour soit parallèle et très voisin du fil d'aller, on trouve que la force électromotrice diminue de 15 p. 100 dans le fer

(*) Le mot force signifie probablement coefficient de self-induction ou force électro-motrice induite.

et de 18 p. 100 dans le cuivre. Si, au contraire, on enroule les mêmes fils en spirale, de manière à avoir des bobines de 11 tours chacune, on voit que l'induction dans le fer n'a augmenté que de 57 p. 100, tandis qu'elle a cru de 404 p. 100 dans le cuivre.

4° *La forme de la section qui donne la plus grande force électromotrice de self-induction est celle dans laquelle tous les points sont le plus près possible les uns des autres, c'est-à-dire la forme circulaire.* — Les fils cylindriques ont une self-induction plus grande que des rubans de même poids et même longueur, et ces derniers ont une self-induction plus grande que des rubans plus larges dans lesquels on aurait pratiqué des ouvertures en découpant des bandes longitudinales, de manière à conserver la longueur et la section totale, c'est-à-dire la même conductibilité mais en éloignant davantage les éléments voisins.

Le fer présente encore une différence avec les autres métaux. Ainsi, tandis qu'un ruban mince d'un métal quelconque, replié sur lui-même transversalement, de manière à rapprocher les divers points d'une même section et à former une sorte de cylindre, atteint presque la self-induction d'un cylindre compact, le fer réduit en ruban a une self-induction bien plus faible qu'en fil cylindrique, mais ne gagne presque rien à être replié sur lui-même; pareillement, tandis qu'un conducteur formé de plusieurs fils de cuivre tendus parallèlement très près les uns des autres ou câblés ensemble a une self-induction voisine de celle d'une tige pleine de même section, un câble de fils de fer a une self-induction bien moindre que celle d'une barre de même métal; sa valeur peut même devenir plus petite que celle du cuivre.

Les phénomènes généraux présentés par l'acier sont analogues à ceux qu'on rencontre dans le fer doux, mais ils sont moins accentués.

5° *Les changements physiques effectués dans les conducteurs modifient la self-induction.* — M. Hughes avait pensé que les différences profondes qui existent entre le fer et les autres métaux tenaient à la propriété magnétique de celui-là. Ayant porté un fil de fer au rouge, il constata, en effet, que la force électromotrice de self-induction devenait inférieure à celle d'un fil de cuivre de mêmes dimensions; l'excès de self-induction avait disparu en même temps que le pouvoir magnétique. Par contre, il trouva que la force électromotrice ne variait pas avec la température dans un ruban de fer.

Lorsqu'un courant continu traverse un fil de fer, il y laisse subsister une aimantation circulaire qui a pour effet de réduire de 10 p. 100 la force électromotrice d'induction du premier courant de même sens qu'on lance dans ce fil. Si pendant qu'un courant permanent passe, on produit une modification physique ou mécanique dans le fil de fer, tel qu'échauffement au rouge, aimantation, vibration, etc., ces actions favorisent la fixation du magnétisme circulaire résiduel, qui peut atteindre 40 p. 100.

Conséquences relatives aux conducteurs des paratonnerres et aux fils télégraphiques. — Dans les conducteurs des paratonnerres qui livrent passage à des quantités énormes d'électricité pendant un temps qui doit être aussi court que possible, les phénomènes de self-induction ont une importance considérable. Plus ils seront réduits, plus la section du conducteur pourra être diminuée. De même, sur les lignes télégraphiques

où les appareils rapides travaillent, en général, pendant la période variable, il y a lieu de diminuer autant que possible la self-induction pour diminuer en même temps la durée de cette période.

Pour ces deux usages, M. Hughes condamne l'emploi de conducteurs cylindriques en fer. Si on veut faire usage du cuivre, la forme qu'il préconise est celle d'une bande large et mince, mais il fait remarquer que plusieurs fils de fer câblés ensemble ont une self-induction qui est au plus égale à celle de conducteurs semblables en cuivre et que, par conséquent, un pareil câble est très avantageux.

Il cite, à l'appui de la supériorité du cuivre sur le fer, tous deux en fils de même diamètre, les résultats d'expériences récentes de M. Preece (*). Ces essais, effectués sur des lignes dont on avait égalisé la résistance et la longueur, ont montré que les fils de cuivre ont un rendement supérieur d'environ 13 p. 100 à celui des fils de fer. M. Hughes prétend que cette différence serait bien plus considérable si les appareils avaient permis de faire les comparaisons avec des émissions plus rapides.

En outre, l'auteur critique la méthode dont on fait usage pour mesurer la résistance des conducteurs destinés aux transmissions télégraphiques ou à l'éclairage électrique avec courants alternatifs, méthode qui consiste à employer un courant permanent tandis que ces circuits ne fonctionnent que pendant le régime variable et que ses expériences montrent que la résistance peut, dans ces conditions, varier dans le rapport de 1 à 4.

(*) Voir, dans ce numéro, page 324.

Remarques à propos du Mémoire de M. Hughes.

Lord Rayleigh a présenté quelques observations relatives à la communication de M. Hughes.

Il fait remarquer que celui-ci n'a pas employé l'expression *self-induction* dans le même sens que Maxwell et il montre que la formule donnée par cet auteur (*), dans laquelle entrent la perméabilité magnétique des conducteurs et celle du milieu, permet de prévoir un certain nombre de résultats expérimentaux de M. Hughes.

La *Lumière électrique*, du 3 avril 1886, contient sur le même sujet un article remarquable de M. H.-F. Weber.

L'auteur fait remarquer que les conclusions de M. Hughes sont en contradiction avec la théorie électro-dynamique admise jusqu'ici et avec toutes les expériences connues.

La constante de self-induction d'un fil cylindrique long, mince et non susceptible d'aimantation, est donnée par la formule

$$(1) \quad \varphi = 2l \left[\log \left(\frac{2l}{\rho} \right) - 0,75 \right],$$

où l représente la longueur du conducteur et ρ son diamètre; le logarithme étant pris dans le système népérien.

Si le fil est susceptible d'être aimanté et si son moment magnétique est proportionnel à la force magné-

(*) *Electricity and Magnetism*, IV^e partie.

tisante (*), le coefficient d'induction prend la forme

$$(2) \quad \varphi' = 2l \left[\log \left(\frac{2l}{\rho} \right) - 0,75 + \pi k \right],$$

k est la constante d'aimantation du métal considéré.

M. Hughes admettait que l'angle d'écart de son sonomètre mesurait directement le coefficient de self-induction du fil X; M. Weber a montré que cela était inexact.

Il suppose que la force électro-motrice est une fonction sinusoïdale du temps, cette supposition simplifie l'exposé mais ne modifie pas le résultat puisque la fonction est périodique. Il écrit les équations de Kirchhoff pour les divers conducteurs qui entrent dans le Pont d'Induction, en ayant soin d'introduire les forces électro-motrices d'induction.

Soient

$$\begin{array}{cccccc} w_0, & w_1, & w_2, & w_3, & w_4, & w; \\ \varphi_0, & \varphi_1, & \varphi_2, & \varphi_3, & \varphi_4, & \varphi; \\ i_0, & i_1, & i_2, & i_3, & i_4, & i; \end{array}$$

respectivement les résistances, les coefficients de self-induction et les intensités dans les conducteurs AEC, AB, BC, AD, DC, DFB, et P le coefficient d'induction mutuelle des bobines du sonomètre.

On peut résoudre ces équations par rapport à i (intensité dans le circuit du téléphone) et chercher les conditions pour que cette intensité soit toujours nulle, quelle que soit la valeur de la force électro-motrice de la pile. On trouve que ces conditions ne sont pas remplies en général, c'est-à-dire qu'on ne doit pas obtenir le silence au téléphone; toutefois, dans le cas particulier où s'est

(*) Un fil traversé par un courant prend une aimantation circulaire, sans production de pôles libres. La formule (2) a été établie par Kirchhoff, en 1870, en admettant que la théorie de Poisson sur le magnétisme induit est applicable à ce cas.

placé M. Hughes, les constantes numériques sont telles qu'on peut, en faisant varier convenablement les résistances, avoir pour i une valeur sensiblement nulle.

M. Weber arrive à exprimer, dans ces conditions, le coefficient de self-induction du conducteur considéré par la formule :

$$\varphi_1 = P + \left(\frac{P}{w_1} + \frac{P}{w_2} + \frac{P}{w_3} \right) w_1 + \left(\frac{\varphi_2}{w_3} - \frac{\varphi_1}{w_1} + \frac{\varphi_2}{w_2} \right) w_1,$$

On calcule aisément φ_1 , φ_2 , φ_3 en fonction des éléments du fil considéré au moyen de la formule (1); P se déduit de la formule générale d'électro-dynamique en connaissant la forme des bobines, le nombre de tours et l'inclinaison de l'une sur l'autre.

M. Weber a expérimenté sur trois conducteurs de même longueur et de même diamètre en cuivre, maillechort et mercure, il a calculé la valeur de φ_1 par la méthode indiquée et a pu en conclure qu'il n'y avait aucune différence entre les constantes de self-induction de ces trois fils.

Nous ajouterons enfin que la manière dont M. Hughes considère la résistance pendant le régime variable est inexacte. La résistance ne dépend pas sensiblement du régime du courant. M. Weber, dans les équations précédentes, l'a supposée invariable, puisque W , W_1 , W_2 , ... sont traitées comme des constantes. L'augmentation apparente r de la résistance qu'a observé M. Hughes provenait de forces électro-motrices d'induction satisfaisant à chaque instant à la relation

$$r = \frac{de}{di}.$$

La variation de la self-induction d'un métal à l'autre et la variation de la résistance suivant le régime du

courant constituent donc, suivant M. Weber, une double erreur et non un fait nouveau.

En résumé, la self-induction dans les métaux non magnétiques ne paraît pas s'écarter des lois admises jusqu'à présent. Dans les conducteurs magnétiques, il faut ajouter, au coefficient d'induction d'un circuit semblable formé d'un métal non magnétique, un terme provenant de l'aimantation du conducteur lui-même. La valeur de ce terme dépend de la forme du circuit et de son coefficient d'aimantation.

Dans le cas simple où le circuit est sensiblement rectiligne (c'est celui des lignes télégraphiques) il n'y a lieu de considérer que l'aimantation circulaire produite dans le fil par le passage du courant; la formule [2] donne la valeur de ce coefficient.

Il est facile de se rendre compte de l'augmentation de self-induction causée par ce fait sur un circuit. Soit, par exemple, un fil d'un kilomètre de longueur et de 4 millimètres de diamètre. S'il est en cuivre on a, en unités CGS :

$$\varphi = 200.000 \left[\log \text{nép.} \left(\frac{200.000}{0,2} \right) - 0,75 \right] = 2.613.100.$$

S'il est en fer, il faudra connaître la valeur k correspondant à cette qualité. Pour le métal très doux, on a $k = 32.8$. On trouve d'après ce chiffre :

$$\varphi' = 200.000 \left[\log \text{nép.} \left(\frac{200.000}{0,2} \right) - 0,75 + 32,8\pi \right] = 23.211.400 (*).$$

Le rapport de ces deux valeurs est de. 8.88

(*) La self-induction d'un récepteur Morse est d'environ 140.000.000 d'unités; on voit que la self-induction de la ligne n'est pas négligeable devant celle des électro-aimants et qu'il y a lieu d'en tenir compte dans les éléments qui influent sur la vitesse de transmission.

Pour un fil de 100 kilomètres, il n'est plus que de 6.72
 — 1000 — — 6.

La valeur de ce rapport croît avec le diamètre du fil, parce que le terme indépendant de l'aimantation du métal diminue.

Dans le cas d'un circuit non rectiligne, par exemple pour une bobine, la question est plus complexe. Il faut considérer : 1° la self-induction produite par le circuit indépendamment de sa nature ; 2° l'aimantation circulaire du fil lui-même sous l'influence du courant qui le traverse ; 3° l'aimantation transversale produite dans chaque élément du fil par le champ magnétique que forme la bobine. Pour de très faibles intensités du courant, il est probable qu'on ait le droit de considérer ces deux derniers éléments comme pouvant s'ajouter purement et simplement, mais il doit en être différemment aussitôt que le champ magnétique prend une valeur notable.

Remarquons enfin que la formule de Kirchhoff s'appuie sur l'hypothèse de Poisson, qui n'est pas absolument justifiée. Elle appelle donc des vérifications expérimentales. J'ai entrepris quelques recherches dans ce but et j'ai pu vérifier approximativement la formule [2] ; le terme relatif à l'aimantation a varié très sensiblement avec divers échantillons de fer ; le rapport de la self-induction totale à celle d'un circuit non magnétique a toujours été trouvé plus petit que ne l'indiquait la formule ; ce qui s'explique en admettant que la valeur de k qui entre dans cette formule est trop forte. La moyenne de mes expériences rapportée à des fils de 50 mètres de longueur, m'a donné pour ce rapport des nombres compris entre 5 et 6.

Je me propose de continuer cette étude et de recher-

cher l'importance de la self-induction des conducteurs sur la vitesse de transmission relativement aux autres éléments : résistance et capacité. Cette question présente de l'intérêt au point de vue des lignes télégraphiques et téléphoniques.

J. VOISENAT.

NOTE SUPPLÉMENTAIRE.

M. Eric Gérard a repris, de son côté, l'étude de la self-induction des fils de natures, longueurs et diamètres divers, au moyen d'une méthode plus simple et prêtant moins à contestation que celle de M. Hughes. La figure ci-contre indique le dispositif qu'il a employé.

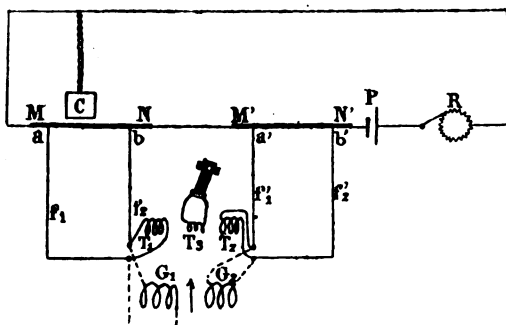


Fig. 2.

MN M'N'PR est un circuit fermé périodiquement par la roue R; ab et $a'b'$ sont deux fils intercalés dans le circuit et qu'il s'agit de comparer au point de vue de la self-induction. Les fils f_1 , f_2 , reliés au circuit G_1 ,

d'un galvanomètre différentiel, dérivent une partie très faible du courant entre les points a et b . Les fils f'_1, f'_2 sont reliés de même au circuit G_2 , et constituent une dérivation identique à la première. On fait glisser le contact b' , par exemple, jusqu'à ce que le galvanomètre indique l'équilibre des résistances ab et $a'b'$ pendant le courant permanent. Alors on relie les fils f_1, f_2 à la bobine T_1 et les fils f'_1, f'_2 à la bobine semblable T_2 . Une bobine T_3 , placée symétriquement entre T_1 et T_2 , est reliée à un téléphone, qui ne doit accuser aucun bruit, lorsque la roue R tourne, si les coefficients L et L' de self-induction de ab et $a'b'$ sont égaux. Lorsqu'ils ne sont pas égaux, on approche ou l'on éloigne une bobine C , traversée par le courant général, du fil ab jusqu'à ce que l'on ait l'équilibre. Si cette bobine a sur ab un coefficient d'induction M , on a alors :

$$L' + M = L.$$

Dans les expériences de M. Gérard, le fil ab restant toujours le même, L était invariable. On calculait M d'après les dimensions de la bobine C et sa position par rapport à ab . On avait ainsi la valeur de L . M. Gérard a ainsi vérifié que la formule connue (voir plus haut) :

$$L' = 2l \left(\log \frac{2l}{\rho} - 0,75 \right),$$

est applicable aux métaux non magnétiques, cuivre, bronze phosphoreux, laiton, mercure, contrairement aux assertions de M. Hughes. La simplicité de la méthode de M. Gérard et la précision des formules, qui donnent les coefficients en valeur absolue, ne paraissent laisser aucun doute à cet égard, et les con-

clusions précédentes viennent à l'appui de celles de M. F. Weber.

D'ailleurs, dans une deuxième communication à la *Society of telegraph engineers* (*), M. Hughes cite le fait suivant, qui contredit entièrement ses premières conclusions :

« Des fils de différents métaux non magnétiques, de même longueur et même diamètre, réduits à la même résistance par l'addition de baguettes de charbon constituant une résistance artificielle *comparativement exempte d'induction*, ne donnent aucune indication apparente d'une différence quelconque dans la capacité inductive (self-induction) de ces métaux ».

En dernier lieu, il a communiqué à la *Royal society* (27 mai dernier) le résultat de nouvelles recherches entreprises pour répondre aux objections qui s'étaient élevées de toutes parts. La méthode qu'il a employée est plus simple que la première. C'est un pont ordinaire de Wheatstone, avec un téléphone au lieu de galvanomètre, comme le montre la figure ci-contre. Les branches CD et CB sont constituées par deux fils de maillechort ayant même longueur ($0^m,500$), même diamètre ($0^m,005$) et même résistance ($0^{\omega},85$). Les branches AB et AD ont même résistance ($0^{\omega},75$). Lorsqu'on change le fil à mesurer X, on équilibre le pont en faisant glisser le contact BM le long du fil de maillechort HI. Enfin pour équilibrer la self-induction, on pousse à droite ou à gauche un collier monté en A sur le même axe que les bobines E et F, de même à comprimer l'une de ces hélices et à dilater l'autre, ce qui établit entre elles une différence de self-induction.

(*) Voir la traduction dans la *Lumière électrique* (1^{er} mai 1886).

On voit donc que, si l'on peut négliger les effets d'induction mutuelle des diverses branches du pont devant leur self-induction, ce qui peut être réalisé dans certains cas, la méthode en question est satisfaisante; et, lorsque le téléphone est muet, la variation de self-induction de X est à peu près égale à la va-

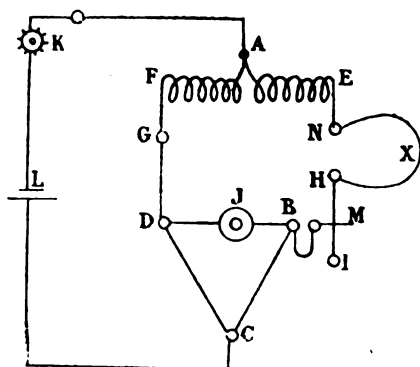


Fig. 3.

riation de la différence de self-induction entre les bobines F et E. Toutefois, au lieu de faire des mesures en valeur absolue, M. Hughes prend les déplacements du collier A comme mesure de la force *e. m.* d'extra-courant ou de la capacité inductive de X. Les chiffres qu'il trouve ainsi pour des fils de cuivre de 1 mètre de longueur et de diamètres variant de 0^m,00025 à 0^m,010 satisfont à peu près à la formule théorique connue :

$$\left(\log \frac{2l}{\rho} - 0,75\right) \text{ ainsi qu'on peut le constater facilement; tandis que dans ses premières expériences il trouvait que la force } e. m. \text{ était maximum pour une certaine valeur du diamètre } \rho \text{ (voir plus haut).}$$

M. Hughes a retrouvé, avec sa nouvelle méthode, les effets considérables produits par l'enroulement

d'un fil en bobine; par le changement de forme de la section ou la division du conducteur en plusieurs fils parallèles, surtout dans le cas du fer; par la présence d'un tube en fer enveloppant le fil conducteur; par la présence d'un noyau de fer doux ou de cuivre, plein ou divisé, à l'intérieur d'une bobine, etc., etc. Dans le cas d'un noyau plein, il a constaté que les courants de Foucault qui se développent, ont pour effet de réduire notablement la self-induction et d'augmenter la résistance apparente de la bobine, comme l'indique la théorie, dans le cas de courants périodiques.

La résistance même d'un fil est variable suivant M. Hughes, avec le régime du courant. Ce fait, en principe, découle de la théorie classique et tient, comme l'a fait remarquer M. Forbes, à ce que la force *e. m.* de self-induction n'est pas la même dans le fil à toute distance de son axe et à ce que, par suite, la *densité* du courant n'est pas uniforme dans toute la section du fil. M. Hughes a trouvé que l'augmentation de résistance pendant le régime variable est considérable dans le fer (166 p. 100 ou 220 p. 100 par exemple) et faible dans le cuivre (de 4 à 7 p. 100). A ce sujet, il interprète le fait de l'établissement *graduel* du courant depuis zéro jusqu'à sa valeur maximum en disant que la résistance du fil est d'abord infinie et décroît jusqu'à sa valeur normale; tandis qu'il s'agit là d'après la théorie ordinairement admise, d'un effet de self-induction.

Les recherches de M. Hughes ont provoqué des discussions très importantes, auxquelles ont pris part plusieurs savants de divers pays, et elles ont attiré l'attention sur un sujet auquel on n'accordait peut-être pas tout l'intérêt qu'il mérite.

En ce qui concerne les lignes télégraphiques, on admet généralement que leur self-induction est nuisible au point de vue des transmissions, et l'on en conclut qu'elle doit être réduite le plus possible. Nous nous proposons de démontrer, dans un prochain article, que cette opinion est sans fondement et que, notamment pour les transmissions téléphoniques, l'effet de la self-induction de la ligne est *essentielle-ment utile*. Si l'emploi du fer est beaucoup moins avantageux que celui du cuivre, cela tient à sa résistance spécifique élevée et peut-être aussi aux effets de magnétisme rémanent, mais non à sa self-induction.

A. V.

A PROPOS DES AVANTAGES RELATIFS
DES FILS DE FER ET DE CUIVRE
POUR LES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES

(ANALYSE D'UNE CONFÉRENCE FAITE PAR M. PREECE A L'ASSOCIATION)
BRITANNIQUE A ABERDEEN, 1885.

M. Preece fait remarquer qu'on tend, en Angleterre, à remplacer les fils de fer par des conducteurs en cuivre dans la construction des lignes télégraphiques, à cause de la plus grande durée de ce dernier métal. L'emploi du cuivre est particulièrement avantageux pour traverser les villes industrielles, car il est peu attaqué, tandis que le fer est corrodé rapidement par les fumées acides qui se dégagent des usines. Le prix de la tonne de cuivre est plus élevé que celui de celle de fer, mais comme on peut employer le premier sous un diamètre bien plus faible que le second, à conductibilité égale les prix de revient sont à peu près les mêmes.

L'auteur a entrepris une série d'expériences ayant pour but de déterminer les avantages électriques relatifs des deux métaux pour les transmissions télégraphiques. Ces essais ont été faits sur la ligne de Londres à Newcastle qui porte 9 fils de fer et un fil de cuivre sur les mêmes appuis; ce dernier étant à la partie supérieure. Ils comprennent :

1° La comparaison des fils au point de vue de la conductibilité, de l'isolement et de la capacité. Plusieurs séries d'expériences ont été faites sur des sections plus ou moins grandes ;

2° La détermination de la vitesse maxima de transmission d'un appareil Wheatstone établi soit en simple soit en duplex.

Voici le résumé de ces expériences :

	FILS DE CUIVRE.	FILS DE FER.
Longueur de la ligne. . . .	278 milles	278 milles } dont 17 en câble et 6 en cuivre.
Hauteur moyenne du fil. . . .	6mètres,90	6mètres,60
Résistance par mille	9ohms,23	12ohms,10
Isolement par mille.	58mégohms,05	38 mégohms
Capacité par mille.	0mf,0141	0mf,0165
Vitesse de transmis- (Simplex.	414 mots	345 mots
sion par minute. /Duplex.	270 mots	237 mots

« On pense, dit M. Preece, que cette supériorité du cuivre sur le fer exercera une influence favorable et économique sur notre système télégraphique et qu'une application étendue des fils de cuivre nous permettra non seulement de faire un meilleur travail mais de nous dispenser souvent des relais translateurs sur les longues lignes, où ils sont nécessaires aujourd'hui. Mais ce qu'il y a surtout d'intéressant dans ces expériences, c'est qu'elles semblent prouver que la supériorité du cuivre ne provient pas seulement de ce que sa capacité électrostatique et sa résistance sont plus faibles, mais aussi de ce fait qu'il a une inertie électrique moins grande que le fer ; si, en effet, on égalise

la capacité et les résistances des deux fils de cuivre et de fer, au moyen de bobines de résistance et de condensateurs intercalés dans le circuit, la vitesse de transmission sur le fil de cuivre ne diminue pas. Ce résultat tient peut-être aux propriétés magnétiques du fer. L'aimantation du fer agit comme une espèce de frein sur les courants. C'est probablement pour la même raison que les téléphones fonctionnent toujours mieux sur les fils de cuivre. »

J. V.

SUR
LA RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE
DES SUBSTANCES ISOLANTES (*)

L'objet de ce travail est la détermination des résistances spécifiques d'un certain nombre de substances isolantes ou médiocrement conductrices, et l'étude des principales circonstances capables de faire varier ces résistances. Celles que j'ai eu à mesurer sont comprises entre 1 ohm et 10^{16} ohms environ. J'ai donc dû me préoccuper avant tout de rechercher les méthodes qui peuvent être appliquées à l'étude des résistances des divers ordres de grandeur.

EXPOSITION DES MÉTHODES.

§ I. — *Résistances spécifiques de corps liquides
comprises entre 1 et 10^6 ohms.*

Quand on a affaire à des résistances relativement faibles, il est avantageux de ramener leur mesure à une comparaison de différences de potentiel. On évite ainsi le développement de la polarisation qui constitue le principal obstacle à l'exactitude des résultats dans

(*) Extrait d'un mémoire paru dans le *Journal de physique*.

les méthodes basées sur la mesure de l'intensité des courants.

M. Lippmann (*) a fait connaître une excellente méthode électrométrique, dont j'ai appliqué le principe à l'étude des liquides de résistance faible ou médiocre, en modifiant la disposition donnée à l'expérience, suivant la grandeur des quantités mesurées. Cette méthode consiste à introduire dans le courant d'un élément Daniell une colonne du liquide étudié AA' (*fig. 1*) et une résistance métallique graduée DD'. La différence de potentiel entre les dérivationes prises en deux points de liquide B et B' peut ensuite être comparée à celle qui se développe entre deux points C et C' du fil métallique.

Soient a et a' les différences électriques C|C' et B|B' (**), r et r' les résistances des portions de conducteurs CC' et BB' interposées entre les points de dérivation. L'intensité i du courant étant la même dans tout le circuit, on a

$$i = \frac{a}{r} = \frac{a'}{r'}.$$

En particulier, si l'on fait en sorte que les différences a et a' soient égales, on aura rendu égales les résistances r et r' . Toutes les fois que cette égalisation sera possible, c'est-à-dire quand on pourra opérer sur des colonnes liquides dont la résistance totale ne dépasse pas celle des étalons de 100.000 ohms qu'on trouve dans le commerce, il sera avantageux, à tous

(*) Lippmann, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXIII, p. 192, 1876.

(**) Pour abrégier le langage, nous représentons la différence de potentiel entre C et C' par la notation C|C', bien que cette notation ne soit usitée ordinairement que pour les forces électromotrices de contact.

les points de vue, d'opérer sur des résistances égales. Pour constater cette égalité, on interpose entre les dérivationes C et C' un circuit comprenant une force électromotrice auxiliaire b égale et contraire à a . Un électromètre introduit dans ce circuit permet de reconnaître l'exactitude de la compensation. Par le jeu d'un commutateur, on interpose ensuite le même circuit secondaire entre les dérivationes B et B'. L'électromètre doit demeurer au zéro si les différences a et a' sont égales.

Je me suis servi dans ces expériences de l'électromètre Lippmann, qui présente le double avantage de donner les indications instantanées et d'être sensible

à $\frac{1 \text{ volt}}{10000}$.

Le liquide était contenu dans des tubes de verre horizontaux communiquant par des ouvertures très étroites avec quatre branches verticales de même diamètre, dans le liquide desquelles plongeaient autant de lames de platine (*). Les branches extrêmes servaient à faire passer le courant; les branches du milieu constituaient les dérivationes. La base de l'appareil était immergée, jusqu'à un niveau plus élevé que celui du liquide intérieur, dans un bain que formait ordinairement la substance même soumise à l'expérience, afin de n'être pas gêné par les changements d'état du liquide extérieur.

La résistance mesurée était celle d'une colonne liquide cylindrique ayant pour base la section s du tube, et pour hauteur la distance l des deux orifices capillaires B et B'. Je me suis assuré par l'expérience que les surfaces

(*) Cet appareil a été construit par M. Alvergriat.

équipotentiellles ne diffèrent pas d'une manière appréciable des sections droites du cylindre. La résistance spécifique était donc obtenue en multipliant par $\frac{s}{l}$ la résistance mesurée.

En sortant du liquide, le courant traverse des étalons de résistance atteignant jusqu'à 110.000 ohms. La force électromotrice auxiliaire b destinée à tenir successivement en équilibre les différences électriques a et d , est fournie par l'interposition dans le circuit secondaire d'un condensateur chargé KK' (*fig. 1*). Les

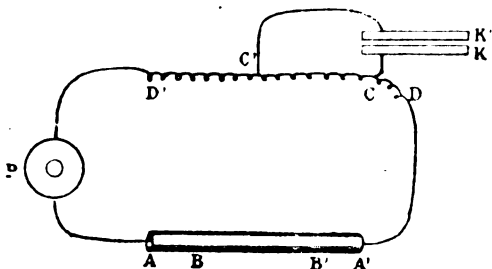


Fig. 1.

dérivations C et C' sont respectivement mises en communication avec les armatures K et K' qui prennent spontanément une différence de potentiel égale à a , puis maintiennent en équilibre électrique les conducteurs CK , $C'K'$, constituant le circuit secondaire. On intercale alors sur l'un de ces conducteurs CK un électromètre Lippmann qui demeure au zéro, puisque ses deux mercures sont ainsi reliés aux points C et K , dont le potentiel est le même. On substitue enfin les dérivations B , B' aux dérivations C , C' . L'électromètre doit rester au zéro si la différence électrique a' est égale à la différence a . Si cette condition n'est pas réalisée,

il se produit dans le circuit secondaire un courant qui modifie l'état électrique dans le condensateur et dans l'électromètre. Mais, grâce à la présence du condensateur, la quantité d'électricité ainsi transmise est limitée, et l'on ne court pas le risque de produire un courant continu qui polariserait les électrodes B et B', si le pont de l'électromètre était fermé.

La *fig. 2* représente cette disposition.

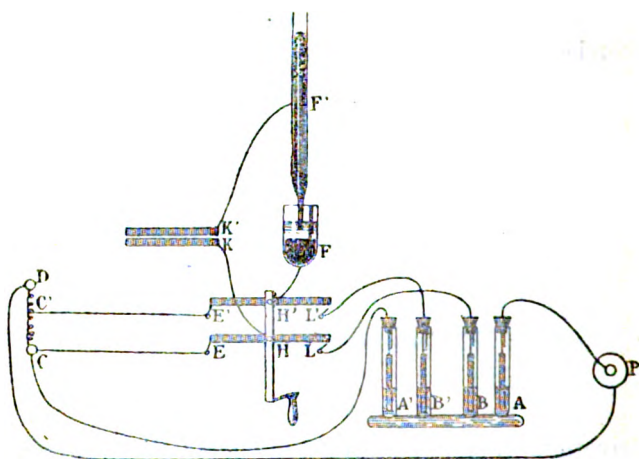


Fig. 2.

- P pile;
 ABB'A' tube contenant le liquide;
 CD boîte de résistances métalliques;
 (Le courant suit le trajet PAA'CDP.)
 EE'HH'LL' commutateur à bascule de M. Blondlot, permettant de faire communiquer les points H et H' reliés au condensateur et à l'électromètre, soit avec les points L et L' reliés à la colonne liquide en B et B', soit avec les points E et E' reliés en C, C' à la résistance métallique;
 KK' condensateur;
 FF' électromètre.

Le condensateur avait une capacité de 1 microfarad;
 celle de l'électromètre valait au plus 0^m,24.

Ces deux capacités déjà faibles par elles-mêmes, étant en outre disposées en série, il ne fallait qu'une très petite quantité d'électricité pour produire l'équilibre dans le circuit secondaire. On n'avait donc pas à craindre de communiquer aux électrodes B et B' une polarisation sensible. Les surfaces immergées de ces électrodes atteignaient en effet de 3^{es} à 5^{es}. Or, d'après les expériences de M. Blondlot (*), la capacité initiale d'une lame de platine dans l'eau varie entre 31^{mf} et 7^{mf},8 par centimètre carré. Je me suis toujours placé dans les conditions les plus favorables en faisant rougir ces lames avant chaque série d'expériences. En admettant cependant que la capacité des lames dans les liquides où elles plongent soit de l'ordre de grandeur du plus petit de ces nombres, on trouve encore pour 3^{es} une capacité minima de 23^{mf}, c'est-à-dire plus de cent fois la capacité du système formé par le condensateur de l'électromètre (**).

Pour avoir des températures plus uniformes et mieux déterminées, on opérait au moment des maxima de température après l'extinction du fourneau. Toutefois, pour éliminer sûrement les petites erreurs qui pouvaient encore résulter d'une légère inégalité entre les températures des électrodes B et B', on recommençait l'expérience en renversant le sens du courant et l'on prenait la moyenne des deux résultats.

(*) Blondlot, *Journal de physique*, 1^{re} série, t. X, p. 444, 1881.

(**) La capacité de ce système est donnée par la formule

$$\frac{1}{x} = 1 + \frac{1}{0,24},$$

Sa valeur est $x = 0^{\text{mf}},194$.

§ II. — *Résistances spécifiques de corps liquides comprises entre 10^4 et 10^8 ohms.*

Quand les résistances des colonnes liquides observées dépassent notablement 100.000 ohms, on ne peut plus les opposer directement aux résistances métalliques servant d'étalons. Il faut alors opérer sur des résistances inégales et déterminer leur rapport.

J'ai employé dans ce cas une disposition expérimentale représentée par la *fig. 3*. Le courant principal

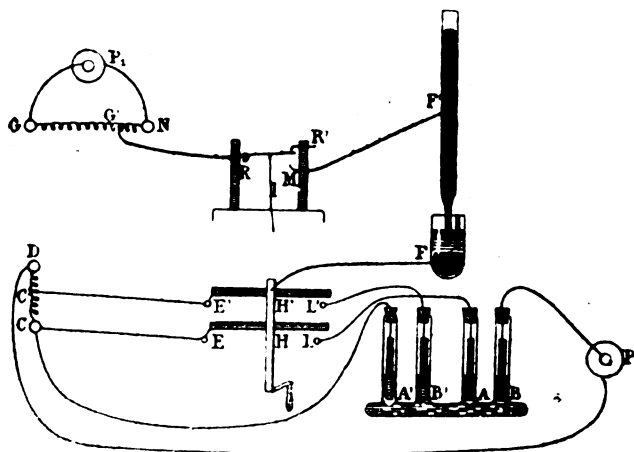


Fig. 3.

suit, comme précédemment, le circuit $PAA'CDP$. Les points de dérivation sont pris en B, B' et C, C' . Aux différences de potentiel développées entre ces points, on oppose successivement à travers l'électromètre des différences égales et contraires. Pour cela, on fait passer le courant d'une seconde pile P_1 dans un rhéostat GN . On peut choisir sur ce nouveau circuit

deux points G, G', tels que leur différence électrique soit égale à la différence $C|G' = a$. On détermine de même la différence $B|B' = a'$, et l'on applique la formule

$$\frac{r'}{r} = \frac{a'}{a}.$$

On a intercalé dans le circuit secondaire, entre l'électromètre et le point G', un interrupteur RM. Cet organe est nécessaire pour éviter le passage d'un courant continu dans les lames de dérivation B, B' avant l'ouverture du pont de l'électromètre. Sans cette précaution, ces lames pourraient être polarisées à chaque essai de compensation.

Pour faire une expérience, on mesure la force électromotrice a_1 qui fait équilibre à $C|G'$. On mesure de même la différence $B|B' = a'$. Enfin on compense de nouveau $C|G'$ par une nouvelle force électromotrice a_2 , généralement un peu inférieure à a_1 , à cause des progrès de la polarisation aux électrodes principales A et A'. On considère la moyenne

$$\frac{a_1 + a_2}{2} = a$$

comme comparable à la différence a' . On recommence enfin les expériences précédentes en renversant le sens des deux piles P et P₁. On obtient deux nouveaux résultats b et b' . Désignons par r' et r les résistances comparées, par A la force électromotrice thermo-électrique qu'il s'agit d'éliminer par i et j les intensités du courant principal avant et après le renversement de la pile. Les relations

$$\begin{aligned} a &= ir, & a' &= ir' + A, \\ b &= jr, & b' &= jr' - A, \end{aligned}$$

donnent, pour le rapport des résistances,

$$\frac{r'}{r} = \frac{a' + b'}{a + b},$$

Quand la résistance de la colonne liquide observée était trop grande pour être comparée avantageusement à l'étalon métallique de 100.000 ohms, on employait comme terme de comparaison la résistance d'un trait de crayon tracé sur une plaque d'ébonite. Cette résistance pouvait être considérée comme fixe pendant la durée d'une série d'expériences.

Elle était préalablement comparée elle-même à une résistance métallique. J'ai employé plusieurs résistances de cette nature comprises entre 2 et 23 mégohms. Il est facile d'en obtenir de plus grandes encore.

§ III. — *Résistances spécifiques de corps solides ou liquides inférieures à 10¹⁰ ohms.*

L'étude des corps solides n'est pas généralement compatible avec l'emploi des tubes à communications capillaires. Ces appareils se rompent sous l'influence des changements de volume que prennent les corps solides quand on fait varier leur température. Il est donc nécessaire d'adopter une autre méthode de mesure. Remarquons, d'autre part, que la résistance des solides est beaucoup plus grande que celle des liquides correspondants. On peut donc faire passer à travers ces corps des courants de faible durée sans développer une électrolyse sensible. Cette circonstance permet d'employer de grandes forces électromotrices, en présence desquelles la polarisation, lente à se déve-

lopper dans ces conditions, sera négligeable. La méthode dont j'ai fait usage pour ces corps repose sur le principe suivant :

Soit PAA'BB''C'CP'' (fig. 4) un circuit comprenant

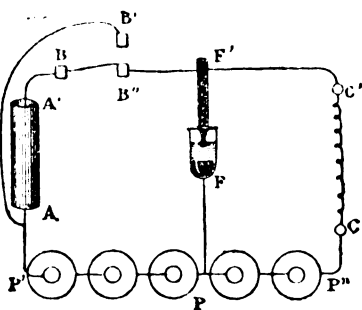


Fig. 4.

une pile de plusieurs éléments. Supposons qu'on relie par l'intermédiaire d'un électromètre deux points P et F' du circuit, pris l'un à l'intérieur, l'autre à l'extérieur de la pile. Si les potentiels de ces deux points sont égaux, l'électromètre demeurera en équilibre, au zéro. Cette condition étant réalisée, les deux branches PAA'F' et F'C'CP du circuit seront parcourues par des courants de même intensité.

Soient

$AA' = r'$ et $CC' = r$ les deux résistances à comparer que l'on a disposées respectivement dans les deux branches du circuit, les conducteurs de raccord n'ayant que des résistances négligeables ;

n' et n les nombres d'éléments de pile compris dans chaque branche ;

e la force électromotrice et a la résistance de chaque élément.

Cette dernière quantité peut être regardée comme identique pour tous les éléments, parce qu'elle n'intervient que dans une correction très faible.

La différence électrique étant rendue nulle entre P et F', on aura

$$i = \frac{ne}{r + na} = \frac{n'e}{r' + n'a},$$

d'où

$$\frac{r'}{r} = \frac{n'}{n}.$$

La première branche comprenait, outre la résistance AA' à mesurer, un interrupteur BB'B". Dans la seconde branche était disposée une résistance métallique CC' variable à volonté.

L'interrupteur est destiné à empêcher le passage continu du courant dans l'électrolyte AA' et la polarisation qui en serait l'effet. Quand il est au repos, il établit une communication métallique entre les électrodes A et A'. On ne fait passer le courant dans l'électrolyte que pendant le temps nécessaire à la lecture de l'électromètre.

La substance à étudier présentait la forme d'un cylindre creux. Elle était limitée intérieurement et extérieurement par des électrodes concentriques A et A' (*fig. 5*), en platine, zinc ou cuivre, en haut par la surface libre et en bas par la surface plane d'un disque en porcelaine, qui occupait le fond de l'éprouvette de verre destinée à contenir l'électrolyte. Les bords inférieurs des électrodes reposaient sur ce disque dont la résistance peut être regardée comme infinie par rapport à celle des corps étudiés.

Désignons par ρ_1 et ρ_2 les rayons de base de l'électrode intérieure et de l'électrode extérieure, et par h

la hauteur de l'électrolyte. La résistance spécifique k sera

$$k = \frac{2\pi h}{\log n \epsilon p \frac{\rho_2}{\rho_1}} r'.$$

En appliquant les formules dues à M. Blavier (*) pour la résistance d'une masse comprise entre deux cylindres excentriques, je me suis assuré que dans les conditions de mes expériences l'excentricité accidentelle des électrodes ne pouvait produire que des erreurs inférieures à $\frac{1}{280}$ de la quantité mesurée.

Cette disposition présente le double avantage d'éliminer les erreurs tenant à la conductibilité des enveloppes et de ramener la mesure de la résistance spécifique à celle d'une résistance beaucoup plus faible, en rapport simple avec la quantité cherchée, tout en faisant occuper à l'électrolyte un volume restreint compatible avec le maintien d'une température uniforme.

La partie inférieure de l'appareil plongeait jusqu'à un niveau notablement supérieur à celui de l'électrolyte dans un bain d'huile ou d'un autre liquide convenablement choisi, qu'on pouvait lui-même entourer d'un bain de sable chauffé sur un fourneau à gaz. Les expériences ont été faites de préférence après l'extinction du fourneau, pendant la période du refroidissement qu'on ralentissait en entourant l'appareil d'écrans métalliques.

Quand on pouvait craindre l'altération de la substance étudiée par l'humidité atmosphérique, on bouchait l'éprouvette; on faisait passer les fils conducteurs

(*) Blavier, *Journal de physique*, 1^{re} série, t. III, p. 113.

T. XIII. - 1886.

par des tubes de verre étroits autour desquels étaient disposés des fragments de chaux vive. Enfin l'éprouvette pouvait elle-même être contenue dans une cloche cylindrique contenant des matières desséchantes.

Quand les résistances à mesurer sont trop grandes pour qu'on puisse les comparer directement avec précision aux étalons métalliques, on emploie une résistance de graphite comme terme de comparaison. Mais, comme cette résistance ne peut être commodément graduée, on modifie la disposition de manière à rendre variable à volonté la force électromotrice qui agit sur elle. La *fig. 5* représente cette disposition nouvelle.

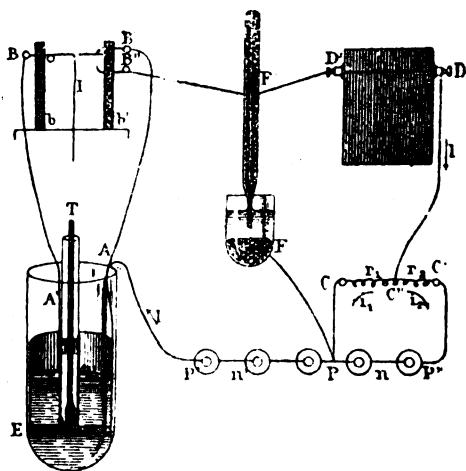


Fig. 5.

Le circuit PP' se ferme par une résistance métallique CC'. Un point C'' de ce conducteur est mis en communication avec l'électromètre par l'intermédiaire de la résistance de graphite DD'. Représentons encore par r et r' les résistances DD' et AA' que l'on compare. Soient

r_1 et r_2 les résistances CC'' et $C'C''$;

I l'intensité du courant dans le conducteur $PP'ABF'$ qui est la même dans le conducteur $F'D'DC''$;

i_1 et i_2 les intensités dans les conducteurs $PC'C''$ et $PP''C'C''$,

L'électromètre demeurant en équilibre, les potentiels sont égaux en F' et en P . Exprimons cette condition : 1° pour le conducteur $PABF'$; 2° pour le conducteur $PCG''DF'$; 3° pour le conducteur $PP''C'C''DF'$. Nous aurons les trois équations

$$(1) \quad I(r' + n'a) = n'e,$$

$$(2) \quad i_1 r_1 + Ir = 0,$$

$$(3) \quad i_2(r_2 + na) + Ir = ne.$$

Exprimons, d'autre part, que la somme algébrique des intensités est nulle autour du point C'' . On a

$$(4) \quad I = i_1 + i_2.$$

En éliminant entre ces quatre équations les intensités I , i_1 et i_2 , on obtient

$$r' = \frac{n'}{n} \left[\frac{r}{r_1} (r_1 + r_2 + na) + r_2 \right].$$

Avant chaque série d'expériences, on déterminait les valeurs de r et de a , en comparant ces résistances avec un étalon métallique gradué. La résistance na de la pile PP'' n'a jamais atteint la centième partie du terme $r_1 + r_2 + na$. La résistance r_2 avait une valeur fixe de 50.000 ohms, et l'on faisait varier r_1 suivant les besoins de l'expérience. La pile était formée d'éléments Daniell bien isolés au moyen de supports à pieds de verre.

§ IV. — Résistances spécifiques de corps solides ou liquides supérieures à 10^{10} ohms.

Quand on se propose de déterminer de très grandes résistances, on ne peut plus employer avec avantage

les méthodes basées sur la comparaison des potentiels aux divers points des circuits comprenant ces résistances. Les indications de l'électromètre deviennent alors paresseuses, parce que la charge nécessaire pour que les deux mercures prennent une certaine différence électrique n'est fournie que très lentement à travers une grande résistance.

Supposons en particulier que l'électromètre soit relié à des conducteurs tendant à développer entre les deux mercures une différence de $\frac{1^{\text{volt}}}{100}$. Soit 10^{10} ohms la résistance interposée. La quantité d'électricité transmise dans le temps t à l'électromètre sera en coulombs

$$\frac{1}{100 \times 10^{10}} \times t.$$

La capacité de l'électromètre est environ $\frac{1^{\text{mf}}}{4}$. Cet instrument est capable d'accuser une différence de potentiel de 10^{-4} volts.

Il faut pour la développer une charge

$$\frac{10^{-8}}{4} 10^{-4}.$$

En égalant ces deux quantités, on trouve pour le temps t nécessaire

$$t = 100 \times 10^{10} \times \frac{10^{-8}}{4} \times 10^{-4} = 25.$$

Chaque essai de compensation entre les potentiels comparés exigerait donc un temps incompatible avec la bonne marche des expériences. On ne peut guère poursuivre l'emploi des méthodes de ce genre que jusqu'à une résistance spécifique de 10^{10} ohms, qui

permet l'emploi d'une résistance effective vingt fois plus petite.

Pour l'étude des grandes résistances, j'ai employé une méthode qui repose sur la mesure du temps nécessaire à la transmission d'une quantité donnée d'électricité à travers la résistance étudiée, sous l'influence d'une force électromotrice connue. Pour apprécier la quantité d'électricité transmise, on la recueille dans un condensateur de capacité connue, qu'on laisse se charger dans chaque expérience jusqu'à une même différence de potentiel. Le détail de cette méthode a été exposé précédemment à propos de mes recherches sur la résistance des verres (*). Les corps étudiés étaient encore disposés en masses cylindriques creuses.

Cette méthode ne convient elle-même qu'aux grandes résistances; avec les résistances médiocres la charge serait trop rapide pour que la durée soit mesurée avec précision. La limite inférieure des résistances spécifiques commodément mesurable de cette manière est environ 5×10^9 ohms. On peut alors expérimenter sur une résistance effective dix fois plus petite, soit 5×10^8 ohms. La capacité réceptrice employée ayant été $1^{\text{m}},09$, on déduit aisément de ces données qu'une force électromotrice de 3 volts développera entre les armatures une différence électrique de $0^{\text{vol}},03$ au bout de $5^{\text{s}},45$, durée qui peut encore être mesurée assez exactement.

La limite supérieure de l'emploi de cette méthode correspond sensiblement à une résistance spécifique de 10^{17} ohms. On peut alors ramener la résistance

(*) Foussereau, *Journal de physique*, 2^e série, t. II, p. 254, 1883.

effective à 10^{18} ohms et la capacité réceptrice à $0^{\text{mf}},3$. Si, dans ces conditions, on emploie une force électromotrice de 500^{volts} , il faudra, pour communiquer à l'électromètre une différence de $0^{\text{vol}},001$, un temps égal à $600^{\text{s}} = 10^{\text{m}}$. Mes expériences sont toutes demeurées notablement en deçà de cette limite.

EXPOSITION DES RÉSULTATS (*).

De l'eau.

1° *Historique.* — La recherche de la résistance de l'eau distillée rencontre deux difficultés très graves, capables d'altérer les résultats dans une proportion quelconque. La première est la présence de traces de matières étrangères qui diminuent la résistance au point d'en changer complètement l'ordre de grandeur; la seconde est le développement de la polarisation des électrodes quand on opère avec des courants qui les traversent. Cette seconde cause d'erreur augmente en apparence la résistance mesurée. Aussi les divers auteurs qui se sont occupés de cette question ont-ils trouvé des résultats très différents les uns des autres.

Nous citerons parmi les travaux entrepris sur la résistance de l'eau ceux de MM. Pouillet (**), Ed. Becquerel (***), Magnus (****), Quincke (*****), Naccari et Bel-

(*) On ne donne ici que les résultats relatifs à l'eau et à l'alcool qui présentent un intérêt plus immédiat.

(**) Pouillet, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. IV, p. 785 1837.

(***) Ed. Becquerel, *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. XVII, p. 267 1846.

(****) Magnus, *Berliner Monatsberichte*, p. 72, 1861.

(*****) Quincke, *Pogg. Ann.* t. CXLIV, p. 21, 1871.

lati(*), Oberbeck(**), Herwig(***), Ayrton et Perry(****). La polarisation est intervenue dans les résultats de ces diverses recherches comme cause d'erreur plus ou moins grave.

M. Kohlrausch(*****) a cherché à en atténuer les effets en employant des courants alternatifs. On peut diminuer ainsi l'action de cette cause d'erreur; mais il est certain qu'elle ne disparaît pas complètement, et il est difficile d'évaluer l'influence qu'elle conserve.

M. Kohlrausch a constaté que l'eau prend des résistances variables avec la nature des vases où on la distille et avec les matières qu'on y ajoute même en quantité très faible avant ou après la distillation. Il a aussi reconnu que le séjour de l'eau dans le verre augmente sa conductibilité.

Dans des expériences récentes(*****) exécutées sur de l'eau distillée dans le vide, M. Kohlrausch a trouvé une résistance de $3,77 \times 10^6$ ohms à 8°. Ce chiffre est le plus élevé qui ait été obtenu. Mais cette opération a été faite dans des vases de verre où l'eau a été chauffée pendant un quart d'heure jusqu'à des températures comprises entre 30° et 45°. A ces températures elle dissout rapidement les sels de verre et les entraîne en partie dans la distillation. D'autre part, M. Kohlrausch n'a pas employé, dans ces dernières expériences, la méthode des courants alternatifs, et il s'est servi de faibles forces électromotrices. La pola-

(*) Naccari et Bellati, voir Rossetti, *Atti del Ist. Veneto*, 4^e série, t. III, p. 2159, 1873-74.

(**) Oberbeck, *Pogg. Ann.*, t. CLV, p. 593, 1875.

(***) Herwig, *Pogg. Ann.*, t. CLIX, p. 61, 1876.

(****) Ayrton et Perry, *Phil. Mag.*, t. IV, 114, 1877, et t. V, p. 43, 1878.

(*****) Kohlrausch, *Pogg. Ann.*, *Erganzungsbd.*, t. VIII, p. 1, 1878.

(*****) Kohlrausch, *Berichte der Akad. der Wissenschaften zu Berlin*, 23 octobre 1884.

risation a donc apporté dans les résultats une perturbation dont on ne peut apprécier l'importance. Ajoutons que la résistance de la même eau aurait diminué au bout de cinq minutes dans le rapport de 2 à 1 environ.

2° *Résistance de l'eau à l'état liquide.* — J'ai entrepris d'étudier la conductibilité de l'eau par une méthode entièrement soustraite à l'action de la polarisation. Cette méthode est celle que j'ai décrite dans la première partie de ce travail, au § II; j'ai étudié d'abord des eaux distillées de diverses provenances. Elles m'ont donné des résultats variant dans le rapport de 1 à 6. La plus isolante a été une eau fournie par la maison Billault, dont la résistance atteignait la valeur

$$7,034 \times 10^5 \text{ ohms à } 15^\circ, 5.$$

Cette résistance est la plus grande que j'aie obtenue; elle ne représente sans doute qu'un minimum, car il résulte, tant de mes expériences que de celles de M. Bouty sur un grand nombre de substances, que l'addition à l'eau d'un corps quelconque en petite quantité augmente toujours sa conductibilité. L'eau ordinaire de la ville a une résistance plus de deux cents fois plus petite.

$$3,393 \times 10^3 \text{ à } 15^\circ.$$

J'ai entrepris, sur le conseil de M. Debray, une série de distillations lentes dans des appareils de platine, avec addition préalable de traces de réactifs divers capables de retenir les impuretés de l'eau. M. Clément, du laboratoire de l'École Normale, a fait pour moi ces distillations avec le plus grand soin. Les résultats ont été très peu concordants, les réactifs ajoutés paraissant être entraînés en proportion appréciable. L'eau

distillée seule une ou plusieurs fois a toujours donné les résistances les plus grandes; mais je n'ai pas atteint de nouveau le chiffre mentionné plus haut. L'eau distillée seule plusieurs fois ne pouvant avoir entraîné des matières étrangères, son impureté ne peut être due qu'aux matières empruntées aux parois des vases ou à l'atmosphère.

Pour étudier l'influence de la parois des vases (*), j'ai laissé séjourner de l'eau pendant un certain temps, à des températures comprises entre 14° et 18°, dans le tube de verre bouché servant aux expériences de mesure. J'ai ainsi constaté d'un jour au suivant une diminution de résistance atteignant environ $\frac{1}{30}$ de la résistance primitive en moyenne. Le séjour de l'eau dans des vases de verre qui n'ont pas été nettoyés avec autant de soin que l'appareil de mesure produit une altération plus rapide. La résistance a diminué alors de quantités pouvant atteindre $\frac{1}{9}$ de sa valeur par jour.

Cette altération s'accélère énormément quand on élève la température. Dans une expérience du 12 juin 1884, on a porté l'appareil de 17° à 32°,3; puis on l'a ramené à la température primitive, en observant de temps à autre la résistance et la fin de l'expérience qui avait duré trois heures : elle avait diminué de $\frac{1}{7.76}$ de sa valeur primitive. A la température 75°, elle a diminué en trois minutes dans le rapport de 44 à 27. La rapidité du changement ne permet alors que des mesures approchées.

(*) M. Chevreul avait déjà remarqué, en 1843, que l'eau s'altère par son séjour dans des vases de verre.

On a observé de même l'action du contact de l'air en faisant séjourner l'eau dans des vases de platine ouverts. La diminution de résistance a été de $\frac{1}{14}$ à $\frac{1}{24}$ par jour. Elle n'a été que de $\frac{1}{114}$ quand le vase de

platine était bouché. Pendant l'opération de la distillation, l'eau présente à l'air une surface constamment renouvelée qui peut sans doute absorber une quantité appréciable des matières répandues dans l'atmosphère.

J'ai cherché à déterminer l'importance des traces de matières étrangères capables d'amener des divergences comparables à celles qui ont été observées entre les divers échantillons étudiés. Dans ce but, j'ai ajouté à une eau de résistance déterminée des quantités connues et très faibles de chlorure de potassium. J'ai reconnu ainsi que, si l'on représente par 1 la conductibilité de l'eau distillée employée, cette conductibilité devient 1,52 après l'addition de 0,000001 de ce sel; 5,60 avec 0,00001, enfin 382 avec 0,001. D'après les expériences de M. Bouty (*) sur les dissolutions salines et acides étendues, l'acide chlorhydrique conduit six fois mieux que le chlorure de potassium à poids égaux. En rapprochant ces divers résultats, on arrive à cette conclusion que, si l'eau pure était parfaitement isolante, il suffirait d'y ajouter $\frac{1}{10^7}$ d'acide chlorhydrique pour lui donner la conductibilité de l'échantillon le plus isolant que j'aie observé. Il est vraisemblable que des traces d'acides, de bases ou de sels de cet ordre peuvent être fournies par l'atmosphère des laboratoires.

(*) Bouty, *Journal de physique*, 2^e série, t. III, p. 325. 1884.

M. Bouty avait, au contraire, signalé les matières organiques comme peu conductrices. J'ai constaté en effet que, après l'addition de $\frac{1}{1000}$ d'érythrite et de $\frac{1}{1000}$ de sucre, la conductibilité de l'eau a varié seulement de 1 à 1,078 et à 1,093.

3° *Influence de la température.* — M. Grossmann (*), en comparant les résultats de ses expériences avec ceux de MM. Grotrian et Kohlrausch, a reconnu que, pour certaines dissolutions salines prises séparément, le coefficient de frottement intérieur reste aux diverses températures proportionnel à la résistance électrique. Les expériences de Poiseuille (**) sur l'écoulement de l'eau par des tubes capillaires conduisent à représenter le frottement intérieur de l'eau par la formule

$$r = \frac{0,00001816}{1 + 0,0336793 \times t + 0,0002209936 \times t^2}.$$

M. Bouty, dans le travail cité plus haut, a reconnu que les conductibilités des dissolutions salines étendues varient avec la température proportionnellement au binôme

$$1 + 0,033695 \times t,$$

qui reproduit les deux premiers termes du trinôme de Poiseuille, le terme en t^2 demeurant nul ou très petit. Il y avait lieu d'examiner si l'eau distillée à peu près exempte de matières étrangères, comme pouvait l'être l'eau employée par Poiseuille, ne présente pas une proportionnalité plus exacte entre le coefficient de frottement et la résistance : le rapprochement de ces deux quantités pouvait présenter un in-

(*) Grossmann, *Wied. Ann.*, t. XVIII, p. 419.

(**) Poiseuille, *Mém. des savants étrangers*, t. XI, p. 433, 1846.

térêt théorique. Je n'ai pu étudier l'influence de la température sur la résistance de l'eau qu'entre 0° et 21°, l'altération causée par le verre devenant trop rapide aux températures plus élevées. Mais, dans ces limites, la proportionnalité entre les deux phénomènes se montre très exacte, comme on le voit par le tableau ci-dessous. Les écarts n'atteignent pas $\frac{1}{250}$ des résistances observées. Les résistances de la troisième colonne sont calculées en divisant la résistance à 0° par le trinôme de Poiseuille.

	TEMPÉRATURES.				
	0°	6,9	11,35	16,0	21,1
Résistances observées <i>a.</i>	0,8073	0,6487	0,5736	0,5076	0,4479
Résistances calculées <i>b.</i>	0,8073	0,6495	0,5719	0,5060	0,4463
Différences <i>d.</i>		-0,0008	+0,0017	+0,0016	+0,0016
Rapports $\frac{d}{b}$		$-\frac{1}{127}$	$+\frac{1}{338}$	$+\frac{1}{318}$	$+\frac{1}{319}$

4° *Eau à l'état solide.* — La résistance de la glace a été mesurée par la détermination du temps nécessaire au passage d'une quantité connue d'électricité à travers ce corps, disposé sous forme d'un cylindre creux entre des électrodes de platine. Elle a été trouvée, à 0°, douze mille trois cent quarante fois plus grande que celle de l'eau distillée qui l'a fournie. Elle se multiplie par 11 entre — 1° et — 17°. Le tableau ci-après donne les résultats de cette recherche.

TEMPÉRATURES.	RÉSISTANCES.
— 1°	0,4867 $\times 10^{10}$ ohms
— 5	1,136
— 9	1,947
— 10	2,109
— 11	2,433
— 15	4,380
— 17	5,354

Un échantillon d'eau de la Ville, conduisant soixante-cinq fois mieux que l'eau distillée précédente, a fourni une glace de vingt-sept à quarante fois plus conductrice que la glace d'eau distillée. Les impuretés exercent donc sur la résistance de la glace une influence comparable à celle qu'elles exercent sur la résistance de l'eau.

En résumé, j'ai cherché à déterminer les méthodes électrométriques qui conviennent à la mesure des résistances des divers ordres de grandeur et j'ai discuté les limites de leur emploi.

En appliquant ces méthodes à l'étude des résistances de diverses substances solides et liquides, j'ai montré que les changements d'état, les phénomènes allotropiques, les altérations dans la structure, la forme cristalline ou la composition chimique, sont accompagnés de modifications très considérables dans la résistance électrique. L'observation de la résistance peut donc, dans beaucoup de cas, permettre de suivre les circonstances de ces phénomènes et même en faire découvrir l'existence; elle permet en particulier de contrôler la pureté de certains liquides avec une sensibilité que les réactifs n'atteignent pas.

Enfin j'ai étendu à l'eau distillée et à un certain nombre de sels fondus la loi de proportionnalité signalée par Grossmann entre les résistances et quelques dissolutions et leurs coefficients de frottement intérieur aux diverses températures (*).

G. FOUSSEREAU.

(*) Ce travail a été fait au laboratoire de Recherches physiques de la Sorbonne.

EXPÉRIENCES TÉLÉPHONIQUES RÉCENTES

FAITES AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

M. Van Rysselberghe, chargé récemment d'une mission aux États-Unis d'Amérique, a été à même de faire de nombreuses expériences de télégraphie et de téléphonie simultanées sur des circuits tels que l'on n'en trouve pas en Europe. Nous extrayons les passages suivants de l'intéressant rapport qu'il a adressé au directeur de l'administration des postes et télégraphes de Belgique :

La *Baltimore and Ohio telegraph Co* avait mis à ma disposition son réseau et son personnel; et l'*United Lines telegraph Co* m'avait autorisé à faire des essais sur sa longue ligne directe de New-York à Chicago.

Les résultats obtenus ont été constatés, tels que je vais les relater, par les directeurs et les ingénieurs électriciens de ces deux compagnies; en outre l'électricien du Mackay-Bennett cable assistait aux essais entre New-York et Chicago.

Tous les essais ont eu lieu avec les microphones et les téléphones récepteurs tels que je les ai perfectionnés en dernier lieu, et toujours par des conducteurs desservant simultanément le télégraphe.

La première expérience fut faite entre Grafton et Parkersburg (West Virginia), distance 104 milles (167 kilomètres), sur une ligne de huit fils munis de mes appareils anti-inducteurs; le but étant surtout de vérifier si ces appareils n'empêcheraient pas le bon fonctionnement des télégraphes à transmissions rapides tel que le Quadruplex Edison. J'avais pris pour

ce cas spécial des mesures spéciales, c'est-à-dire que j'avais disposé les éléments de mes appareils anti-inducteurs d'une façon quelque peu différente de celle que nous avons adoptée pour les télégraphes Morse et Hughes.

Le résultat a été des plus satisfaisants. Les quadruplex ont pu continuer leur service sans difficulté. Nous communiquions en même temps par téléphones sur les mêmes fils. Ceux-ci étaient : les uns, en fer de 4 millimètres environ (n° 9 de la jauge anglaise); les autres en cuivre dur de 2^{mm},7 (n° 12), offrant une résistance de 6 ohms environ par mille, soit 4 ohms au kilomètre.

La communication téléphonique par les fils de cuivre était splendide, d'une clarté et d'une netteté remarquables; les moindres détails de l'articulation étaient perçus à la perfection, et la voix, dans son ensemble, était forte et bien nourrie.

Avec les conducteurs en fer, la netteté des détails était moindre, quoique la voix ne semblât pas plus faible qu'avec le cuivre; on aurait dit même qu'elle avait plus de volume; mais c'était là une illusion due à des résonnances nuisibles qui rendaient les sons plus graves au détriment de la clarté.

La différence observée tenait uniquement à la nature des conducteurs, car les mêmes microphones et les mêmes téléphones servaient dans les deux cas.

Que le conducteur fût en fer ou en cuivre, la communication était excellente et cela, soit en prenant un fil, soit en en utilisant deux en circuit métallique; la différence entre les résultats de ces deux modes de communication n'étant guère appréciable.

Ces expériences eurent lieu le jour, en plein travail télégraphique.

Ayant ainsi démontré l'efficacité des appareils anti-inducteurs, nous résolûmes d'entreprendre une série d'essais pour déterminer la plus longue portée du téléphone, essais qui se feraient le matin de bonne heure alors que le travail télégraphique est à son minimum, puisqu'il était inutile, pour l'objet en vue, d'installer des appareils anti-inducteurs sur tous les fils du réseau, ce qui aurait conduit à des dépenses considérables.

Les lignes que la *Baltimore and Ohio Telegraph Co* pos-

sède de New-York à Chicago et de Baltimore à Chicago, furent choisies pour champ d'expérience.

De Baltimore à Chicago nous ne possédions que des conducteurs en fer n° 8 (4^{mm},5).

De New-York à Chicago nous avions en outre des conducteurs en cuivre dur n° 12 et 14 (2^{mm},7 et 2^{mm},4) offrant respectivement 6 et 8 ohms de résistance par mille (4 et 5 ohms par kilomètre environ).

Voici sommairement les résultats obtenus en circuit métallique :

Avec les conducteurs en *fer* il ne fut pas possible de tenir une bonne conversation à plus de 250 milles de distance (400 kilomètres), mais nous eûmes une communication convenable entre River (Ohio) et Fostoria (Indiana), distance 229 milles (368 kilomètres) par un conducteur n° 8 (4^{mm},5).

De Grafton à Fostoria, 323 milles (520 kilomètres), nous entendions la voix de l'interlocuteur et nous comprenions quelques mots, mais sans pouvoir tenir une conversation suivie. Toutefois on entendait distinctement le bruit de l'appel phonique dans un ton très grave (ajoutons ici que M. Cornand, avec mes appareils, a correspondu sans difficulté entre Buenos-Ayres et Santa-Fé, 500 kilomètres, en réunissant en quantité deux fils de 4 millimètres employés simultanément pour la télégraphie; la communication était encore satisfaisante en prolongeant ce conducteur par un câble sous-marin de 50 kilomètres.

De Baltimore à Fostoria, 620 milles (1.000 kilomètres) nous n'entendions rien, absolument rien, ni voix humaine, ni appel phonique.

Tout ceci se rapporte, bien entendu, à des conducteurs en *fer* et il importe de remarquer que lorsque avec des conducteurs de cette nature la conversation devient impossible au delà d'une certaine limite, ce n'est nullement à cause de la faiblesse des sons perçus au téléphone; mais la voix est profondément altérée, le timbre en devient très grave et l'on ne reconnaît plus son interlocuteur. On reçoit des sons assez volumineux encore, mais confus et assourdis; l'articulation est perdue, en un mot, c'est par défaut de netteté et non par trop grande faiblesse des sons que la correspondance devient impossible.

Tout autres sont les résultats avec des conducteurs en cuivre. Alors la voix avec tous ses détails d'articulation reste pure, claire et nette, sans altération aucune, jusqu'à ce que, par la distance franchie, elle s'affaiblit au point d'atteindre la limite de la perception par l'oreille humaine.

Je me rappellerai toujours les premiers mots que j'ai perçus à Fostoria, de M. W. Maver, l'ingénieur qui se trouvait à New-York, séparé de moi par 730 milles (1.175 kilomètres) de fil en cuivre dur de 2^{mm},7 et m'appelant en ces termes : *Hellow! Professor!* C'était faible, il est vrai, mais clair, mais net et précis. C'était sa voix, je la reconnus immédiatement. Les *s* de *Professor* me sifflent dans encore l'oreille, et pourtant de toutes les consonnes, l'*s* est celle qui se transmet le moins bien par le téléphone.

De Fostoria à New-York (1.175 kilomètres) par ce fil de 2^{mm},7 la voix ne parvenait pas assez forte pour les besoins d'une communication commerciale.

Mais de Fostoria à Albany, 583 milles (941 kilomètres), nous pouvions converser couramment et sans difficulté par le même fil, malgré une induction assez prononcée provenant surtout de circuits à lumière électrique.

Pour cette dernière expérience, d'après les renseignements fournis par le chef du bureau de Buffalo, la résistance totale du fil d'aller était de 3.660 ohms, celle du fil de retour de 3.347 ohms (la différence provenant de ce que le premier renfermait 27 milles de fer n° 8). La capacité statique du circuit : 3^{mf},3.

Isolement : 296 megohms par mille.

Nous avons essayé de communiquer aux mêmes distances (Albany-Fostoria, par Buffalo, 941 kilomètres) par un circuit métallique complet en fil de cuivre plus mince, n° 14 (2^{mm},1). Le résultat n'a pas été satisfaisant.

C'était absolument trop faible pour une communication commerciale. Toutefois, lorsque certains mots nous parvenaient, ils avaient cette caractéristique de netteté et de clarté que nous avons toujours observée sur des conducteurs en cuivre. Quant au chant, on l'entendait distinctement d'un bout du fil à l'autre.

Voyant par nos dépêches télégraphiques (échangées simul-

tanément par les mêmes fils) que notre conversation téléphonique était difficile, le chef du bureau de Buffalo nous demanda l'autorisation d'interposer un téléphone Bell, à Buffalo, dans un des deux fils composant notre circuit, c'est-à-dire à mi-chemin environ.

Buffalo comprit parfaitement chaque parole, transmise soit de Fostoria, soit d'Albany, quoique cette transmission se fit par toute l'étendue du circuit. Il était donc certain que par un fil n° 14 (2^{mm},1) et en circuit direct, on aurait eu une bonne communication à 300 milles de distance (disons à 500 kilomètres).

La comparaison des résultats obtenus par les fils n° 12 et n° 14 tendait vers cette conclusion, qu'avec des conducteurs en cuivre (ou tout autre métal non susceptible de s'aimanter comme le fer, du bronze phosphoreux, par exemple), la portée du téléphone était approximativement proportionnelle à la conductibilité des fils.

On pouvait craindre cependant, et je craignais, que l'augmentation de capacité statique résultant de plus forts diamètres n'amenât des effets nuisibles de nature à contre-balancer les avantages de la diminution de résistance.

C'est alors que nous résolûmes de nous adresser à M. Chandler, le directeur de l'*United Lines Telegraph Co*, qui possède entre New-York et Chicago des fils directs de 6 millimètres de diamètre. Ce sont des fils *compound* ayant une âme en acier de 3 millimètres de diamètre, recouverte de cuivre à 1^{mm},5 d'épaisseur. La longueur totale de chaque fil est de 1.010 milles (1.625 kilomètres) et sa résistance de 1^{ohm},7 environ par mille (1^{ohm},1 par kilomètre). Sa capacité statique de 11^{mf},7 soit 23^{mf},4 pour un circuit complet. Ces renseignements m'ont été fournis par M. Davis, ingénieur électricien de la Compagnie.

On ne pouvait souhaiter mieux pour déterminer l'influence nuisible de la capacité, si influence nuisible il y avait. La présence de l'acier à l'intérieur du conducteur semblait, à la plupart d'entre nous, fâcheuse au point de vue du téléphone. Quant à moi, je déduisais de l'expérience Fostoria-Baltimore, rapportée plus haut, qu'on pouvait tenir l'âme en acier pour non existante, puisqu'à cette distance de plus de 1.600 kilo-

mètres aucun son ne se transmet à travers le fer, et je considérai ce fil *compound* de 6 millimètres comme équivalent à un fil exclusivement en cuivre de 5 millimètres de diamètre (à part sa plus grande capacité).

De Chicago à Buffalo la ligne se composait de six fils, de Buffalo à New-York il y en avait 10, enfin à New-York, dans le câble qui traverse l'Hudson (que j'évalue approximativement à 2 kilomètres), il existait 6 autres conducteurs.

A Chicago il y avait environ 10 kilomètres de câble souterrain.

Tous les fils de la ligne étaient en plein service télégraphique et avaient été munis des mes appareils anti-inducteurs.

Les expériences ont été fréquemment répétées aux différentes heures du jour et de la nuit.

Les 2 fils qui constituaient le circuit métallique par lequel nous espérions causer à cette belle distance de plus de 1.600 kilomètres, desservaient en même temps des appareils télégraphiques quadruplex.

Les installations terminées de part et d'autre, ce fut avec une certaine anxiété que l'un de nous, M. Maver (à New-York), s'approcha du microphone, se mit les récepteurs aux oreilles et cria : *Hello! Chicago... Hurrah! Hurrah!* s'écria-t-il ensuite; puis, se tournant vers nous tout étonné : *c'est incroyable*, dit-il. Il venait d'entendre la voix de M. l'ingénieur Steward (à Chicago) avec une telle intensité de son et une telle clarté, qu'il s'imaginait devoir trouver son collègue derrière lui, parmi nous, dans la même chambre, à New-York et non à 1.625 kilomètres de distance.

Je pris les téléphones à mon tour, et je fus littéralement émerveillé du résultat. La voix était vibrante et nette, d'une clarté admirable, sans la moindre altération et d'une intensité étonnante. Je pus écarter les téléphones de 3 à 4 centimètres de mes oreilles sans cesser de *comprendre* mon interlocuteur. Lorsque d'autres personnes avaient un récepteur appliqué contre l'oreille, on pouvait entendre les sons venant de Chicago à travers cet appareil, à l'extérieur du téléphone.

Des personnes n'ayant jamais fait usage du téléphone correspondirent à merveille, sans avoir besoin de faire répéter un mot quelconque. Une femme du peuple même, la gar-

dienne de la maisonnette (*cable house*) dans laquelle nous nous trouvions, et qui n'avait jamais vu un téléphone, conversa sans hésitation avec M^{re} Steward dont la voix fine s'entendait à la perfection.

En un mot, les correspondances téléphoniques entre deux postes d'une même ville sont rarement aussi satisfaisantes que celles que nous obtenions, avec nos appareils, à travers un circuit dont la longueur totale était de 3.250 kilomètres ! soit les deux tiers de la distance qui sépare les côtes de l'ancien et du nouveau monde.

En résumé, nous avons correspondu d'une manière commercialement satisfaisante :

Avec un fil de 2^{mm},1 à une distance de 500 kilomètres.

Avec un fil de 2^{mm},7 à une distance de 941 kilomètres.

Avec un fil équivalent à 5^{mm} à une distance de 1.623 kil. dans la perfection.

NOTE SUR L'ESSAI DE LA BOUCLE.

Considérons un câble de longueur totale L , possédant un défaut unique de résistance P à la distance l d'une des extrémités prise comme origine. Soient par unité de longueur, r la résistance du conducteur, et r_1 la résistance de la couche du diélectrique employé. Appelons V_0 le potentiel et I_0 l'intensité à l'origine, V_1 et I_1 les quantités correspondantes à l'autre extrémité située à la distance L . Par hypothèse on dispose au poste d'essais des deux bouts du câble : I_0 et I_1 sont les valeurs numériques trouvées par expérience. On demande de déterminer la position du défaut en fonction des éléments précédents.

La distribution des potentiels le long d'une section de câble supposée sans défaut est connue (*) et représentée par la formule

$$u = Ce^{\alpha x} + C'e^{-\alpha x},$$

u désignant le potentiel au point situé à la distance x de l'origine, C et C' étant des constantes déterminées dans chaque cas particulier, et α satisfaisant à la relation

$$\alpha^2 = \frac{r}{r_1}.$$

Par suite de l'existence du défaut, on aura pour le câble considéré deux chaînettes, la première de l'ori-

(*) Raynaud. *Annales télégraphiques*, 1874, p. 225, et 1875, p. 274.

gine au défaut, la seconde du défaut à l'extrémité L : le paramètre a est évidemment le même dans les deux chainettes. On peut remarquer incidemment que pour l'une des deux la position du point le plus bas ne coïncide pas nécessairement avec celle du défaut.

I. *Position du défaut* : soient donc

$$(1) \quad u = Ce^{ax} + C'e^{-ax},$$

l'équation de la première courbe et

$$(2) \quad u_1 = C_1 e^{ax} + C'_1 e^{-ax},$$

l'équation de la seconde.

Cherchons les valeurs de C , C' , C_1 et C'_1 .

Pour $x=0$ (1) donne

$$(a) \quad V_0 = C + C'.$$

D'autre part, l'intensité mesurée à l'origine est I_0 , d'où

$$(b) \quad \left(\frac{du}{dx}\right)_0 = -I_0 r = a(C - C').$$

De (a) et (b) combinés l'on tire

$$(3) \quad 2C = V_0 - \frac{I_0 r}{a},$$

$$(4) \quad 2C' = V_0 + \frac{I_0 r}{a},$$

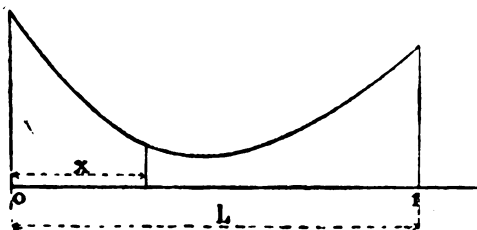


Fig. 1.

Pour la seconde courbe, on a de même

$$(c) \quad V_1 = C_1 e^{aL} + C'_1 e^{-aL},$$

et

$$(d) \quad \left(\frac{du_1}{dx} \right)_L = I_1 r = a(C_1 e^{aL} - C'_1 e^{-aL}),$$

car I_1 représente évidemment, par rapport à l'origine, l'intensité changée de signe pour la seconde extrémité du câble.

De (c) et (d) l'on tire

$$(5) \quad 2C_1 = \left(V_1 + \frac{I_1 r}{a} \right) e^{-aL},$$

$$(6) \quad 2C'_1 = \left(V_1 - \frac{I_1 r}{a} \right) e^{aL}.$$

Les valeurs de C , C' , C_1 , C'_1 , étant donc bien déterminées en fonction des données expérimentales, nous conserverons dans les calculs intermédiaires les coefficients C , C' , C_1 , C'_1 , sauf à les remplacer par leur valeur dans le résultat final, si nous y avons avantage.

Au point où se trouve le défaut, les deux chainettes se rencontrent; on a donc, l étant, comme nous l'avons dit, la distance du défaut à l'origine

$$(e) \quad C e^{al} + C' e^{-al} = C_1 e^{al} + C'_1 e^{-al},$$

d'où

$$(7) \quad e^{2al} = \frac{C'_1 - C'}{C - C_1},$$

c'est-à-dire

$$(8) \quad e^{2al} = \frac{\left(V_1 - \frac{I_1 r}{a} \right) e^{aL} - V_0 - \frac{I_0 r}{a}}{V_0 - \frac{I_0 r}{a} - \left(V_1 + \frac{I_1 r}{a} \right) e^{-aL}},$$

ce qui permet de calculer l .

Résistance P de la perte. Soit Vl le potentiel du conducteur au point où se trouve le défaut unique du

câble : P représentant la résistance de ce défaut, la loi de Kirchhoff $\Sigma i = 0$ donne

$$\frac{a(Ce^{at} - C'e^{-at})}{r} = \frac{a(C_1e^{at} - C'_1e^{-at})}{r} - \frac{Vl}{P},$$

ou

$$(f) \quad a(Ce^{at} - C'e^{-at}) = a(C_1e^{at} - C'_1e^{-at}) - \frac{Vl}{\frac{P}{r}}.$$

D'autre part on a toujours (e)

$$(e) \quad Ce^{at} + C'e^{-at} = C_1e^{at} + C'_1e^{-at},$$

d'où en combinant les deux dernières équations :

$$2aCe^{at} = 2C_1e^{at} - \frac{Vl}{\frac{P}{r}},$$

ou

$$(g) \quad 2a(C_1 - C)e^{at} = \frac{Vl}{\frac{P}{r}},$$

et comme

$$Vl = Ce^{at} + C'e^{-at},$$

on trouve

$$2\frac{P}{r}a(C_1 - C)e^{at} = Ce^{at} + C'e^{-at},$$

d'où

$$(h) \quad e^{2at} = \frac{C'}{2a\frac{P}{r}(C_1 - C) - C}.$$

Or on a déjà

$$(7) \quad e^{2at} = \frac{C_1 - C'}{C - C_1}.$$

Par conséquent

$$\frac{C'}{2a\frac{P}{r}(C_1 - C) - C} = \frac{C_1 - C'}{C - C_1},$$

d'où enfin

$$(9) \quad P = r \frac{CC_1 - C'C_1}{2a(C_1 - C)(C'_1 - C')}.$$

Valeur approchée de l pour certains cas particuliers :

Quand le produit aL ; c'est-à-dire $L \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{r_1}}$ est très petit

et que P est de même ordre de grandeur que la résistance R de la perte résultante due à toute la partie saine du câble, il est facile, en se basant sur les calculs précédents, d'obtenir une valeur approchée de l en fonction de P et de R .

Examinons en effet les deux modes d'essai les plus généralement employés avec le dispositif de la boucle, celui de Murray et celui de Varley par le pont de Wheatstone (*).

1° *Méthode de Murray.* On a

$$V_1 = V_0.$$

L'équation (7) devient

$$(i) \quad e^{2al} = \frac{\left(V_0 - \frac{I_1 r}{a}\right)e^{aL} - V_0 - \frac{I_0 r}{a}}{V_0 - \frac{I_0 r}{a} - \left(V_0 + \frac{I_1 r}{a}\right)e^{-aL}}$$

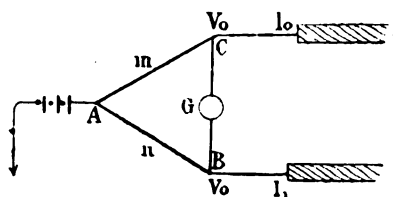


Fig. 2.

Or

$$e^{2al} = 1 + 2al + \frac{4a^2 l^2}{1 \cdot 2} + \frac{8a^3 l^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \dots$$

$$e^{aL} = 1 + aL + \frac{a^2 L^2}{1 \cdot 2} + \dots$$

$$e^{-aL} = 1 - aL + \frac{a^2 L^2}{1 \cdot 2} - \dots$$

(*) *Annales télégraphiques*, 1876, p. 316.

d'où l'on conclut, en ne conservant que les termes du premier ordre de petitesse

$$2al = \frac{2I_1 r L - V_0 a^2 L^2}{\frac{I_0 + I_1}{a} r - V_0 a L},$$

ou

$$l = \frac{L}{2} \frac{2 \frac{I_1}{V_0} - \frac{L}{r_1}}{\frac{I_0 + I_1}{V_0} - \frac{L}{r_1}},$$

Les deux extrémités de la diagonale BC pouvant être considérées comme réunies, nous avons :

$$\frac{I_0 + I_1}{V_0} = \frac{1}{R} + \frac{1}{P}.$$

Nous admettrons en outre comme on le fait dans la pratique générale

$$R = \frac{r_1}{L}.$$

Soient maintenant :

m la résistance de la branche de proportion parcourue par le courant d'intensité I_0 . (Pour fixer les idées, on peut convenir que c'est la branche la plus voisine du défaut.)

n la résistance correspondante pour l'intensité I_1 .

On a :

$$\frac{I_0}{n} = \frac{I_1}{m} = \frac{I_0 + I_1}{m + n},$$

et comme

$$\frac{I_0}{V_0} = \frac{I_0}{I_0 + I_1} \frac{I_0 + I_1}{V_0} = \frac{n}{m + n} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{P} \right),$$

et

$$\frac{I_1}{V_0} = \frac{I_1}{I_0 + I_1} \frac{I_0 + I_1}{V_0} = \frac{m}{m + n} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{P} \right),$$

il en résulte

$$l = \frac{L}{2} \frac{\frac{2m}{m+n} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{P} \right) - \frac{1}{R}}{\frac{1}{P}} = \frac{L}{2} \frac{\frac{m-n}{m+n} \frac{1}{R} + \frac{2m}{m+n} \frac{1}{P}}{\frac{1}{P}},$$

ou

$$(10) \quad l = \frac{L}{2} \left(\frac{m-n}{m+n} \frac{P}{R} + \frac{2m}{m+n} \right).$$

C'est la formule qui résulte de la correction de M. Hockin (*), fondée sur l'artifice de Schwendler.

Comme vérification, pour $R = \infty$ on obtient

$$l_1 = L \frac{m}{m+n},$$

et pour $m = n$

$$l_2 = \frac{L}{2}.$$

2° *Méthode de Varley.* Entre la branche m et le câble on intercale une résistance P . Le potentiel commun aux deux extrémités de la diagonale BC sera maintenant V_1 .

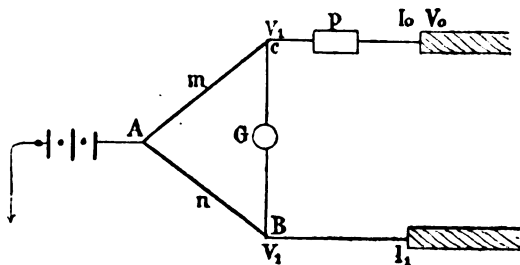


Fig. 3.

Nous avons

$$V_1 - V_0 = I_0 p.$$

En outre p est négligeable vis-à-vis de la résistance

(*) *Annales télégraphiques*, 1876, p. 324.

de la perte qui a lieu le long du câble et par le défaut. Nous pouvons dès lors poser, en conservant toujours la même approximation

$$\frac{I_0 + I_1}{V_1} = \frac{1}{R} + \frac{1}{P},$$

et par suite :

$$\frac{I_0}{V_1} = \frac{I_0}{I_0 + I_1} \frac{I_0 + I_1}{V_1} = \frac{n}{m+n} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{P} \right),$$

et

$$\frac{I_1}{V_1} = \frac{I_1}{I_0 + I_1} \frac{I_0 + I_1}{V_1} = \frac{m}{m+n} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{P} \right).$$

Le développement des exponentielles en série dans la formule (i) donne alors, si l'on se borne aux termes de l'ordre de petitesse le moins élevé :

$$\begin{aligned} 2l &= \frac{2I_1 L - 2I_0 \frac{p}{r} - V_1 \frac{L}{R}}{I_0 + I_1 - \frac{V_1}{R}} \\ &= \frac{2L \frac{m}{m+n} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{P} \right) - 2 \frac{p}{r} \frac{n}{m+n} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{P} \right) - \frac{L}{R}}{\frac{1}{P}}, \end{aligned}$$

ou

$$(11) \quad l = \frac{1}{2} \left[\frac{2}{m+n} \left(mL - \frac{p}{r} n \right) \left(\frac{P}{R} + 1 \right) - \frac{LP}{R} \right].$$

Nous avons deux vérifications.

Pour $R = \infty$, on a bien

$$l_3 = \frac{mL - \frac{p}{r} n}{m+n}.$$

valeur déduite de l'application de la méthode de Varley quand on ne tient compte ni de la perte par l'isolant, ni de la résistance du défaut.

En outre, pour $p = 0$, on doit retrouver la for-

mule (10) relative au cas précédent; c'est en effet ce qui a lieu.

La formule (11) a été obtenue par Schwendler à l'aide d'autres considérations.

L'emploi de l'une des formules indiquées ci-dessus implique la connaissance soit de α , soit de r_1 , ce qui revient au même, car on peut admettre pour r la valeur déduite de celle rL , résistance total du conducteur, trouvée directement par la mesure au pont de Wheatstone. Or les valeurs de α ou de r_1 , qui figurent dans les formules, correspondent au moment où l'équilibre a été atteint et varient trop avec l'électrification du câble et les conditions où il se trouve (température, âge du câble) pour qu'on se fie à un essai indépendant, datant parfois d'une époque éloignée. Il faudrait en faire la détermination simultanément avec l'expérience de la boucle.

La difficulté peut être tournée en partie et la précision de la mesure notablement accrue: en passant presque instantanément, par le jeu de commutateurs convenablement disposés, de l'expérience de la boucle à un essai d'isolement, on obtient une seconde valeur de $e^{2\alpha l}$. L'égalisation des deux expressions de $e^{2\alpha l}$ fournit une relation en α d'où l'on peut tirer une valeur très approchée de α .

Supposons, en effet, l'extrémité 1 isolée. Les quantités désignées précédemment par V_0 , I_0 , V_1 , I_1 , deviennent respectivement V_2 , I_2 , V_3 et 0. Les deux nouvelles chaînettes représentant la distribution des potentiels de l'origine (0) au défaut, et du défaut à l'extrémité (1) maintenant isolée donnent pour la dis-

tance l du défaut à l'origine

$$(8') \quad e^{2al} = \frac{V_3 e^{aL} - V_2 - \frac{l_2 r}{a}}{V_2 - \frac{l_2 r}{a} - V_3 e^{-aL}}.$$

Égalant (8) et (8'), on obtient

$$(k) \quad \frac{V_3 e^{aL} - V_2 - \frac{l_2 r}{a}}{V_2 - \frac{l_2 r}{a} - V_3 e^{-aL}} = \frac{\left(V_1 - \frac{l_1 r}{a}\right) e^{aL} - V_0 - \frac{l_0 r}{a}}{V_0 - \frac{l_0 r}{a} - \left(V_1 + \frac{l_1 r}{a}\right) e^{-aL}},$$

ou

$$(l) \quad \left\{ \begin{aligned} & (e^{aL} + e^{-aL})(l_1 V_2 + l_2 V_1 - l_0 V_3) \frac{r}{a} \\ & + (e^{aL} - e^{-aL}) \left(V_0 V_3 - V_1 V_2 - l_1 l_2 \frac{r^2}{a^2} \right) \\ & + 2 \frac{r}{a} (l_0 V_2 - l_1 V_3 - l_2 V_0) = 0, \end{aligned} \right.$$

c'est-à-dire, en remplaçant e^{aL} par $1 + aL$ et e^{-aL} par $1 - aL$,

$$\begin{aligned} & aL(V_0 V_3 - V_1 V_2) \\ & + \frac{r}{a} [(l_0 + l_1)(V_2 - V_3) - l_2(V_0 - V_1) - l_1 l_2 r L] = 0, \end{aligned}$$

d'où l'on conclut a^2 ou r_1 , puisque $a^2 = \frac{r}{r_1}$.

Si l'on ne veut pas s'en tenir à cette première valeur, l'équation (k) ou l'équation (l) permettra de calculer a par approximations successives.

G. DE LA TOUANNE.

ÉLECTRO-PSEUDOLYSE.

On sait que pour décomposer une molécule d'eau en ses éléments, il faut employer exactement 69 calories, et, par conséquent, toute réaction qui ne dégagera pas cette quantité de chaleur sera incapable d'amener cette décomposition.

D'autre part, on sait également que l'on peut arriver à décomposer l'eau, ou plutôt constater indirectement, à l'aide de la polarisation, les produits de cette décomposition en n'employant que des courants excessivement faibles. C'est ainsi, pour ne citer qu'un exemple, que Flemming (*) a pu constater la polarisation d'un voltamètre à eau acidulée, à l'aide d'une force électromotrice égale à $\frac{1}{8000}$ d'élément Daniell.

Nous nous trouvons donc en présence de deux faits des mieux étudiés, des mieux établis, et qui paraissent cependant tout à fait contradictoires; les calories de décomposition de l'eau d'une part, et de l'autre, l'électrolyse de ce liquide effectuée à l'aide d'un courant de beaucoup inférieur à 69 calories.

Ce désaccord peut s'expliquer aisément si l'on tient compte des phénomènes de dissociation.

On sait, d'après les belles recherches de mon illustre et regretté maître, M. Sainte-Claire Deville, que les corps composés, par exemple l'eau, peuvent être décomposés par la chaleur seule, à une température bien inférieure à celle qu'ils produisent quand leurs éléments se combinent; et cette décomposition s'arrête dès que

(*) On the polarisation of electrodes in water free from air. (*Philosophical Magazine*, 1876, t. I, p. 142.)

le mélange des éléments gazeux qui en proviennent atteint une certaine tension nommée *tension de dissociation*. Inversement, lorsqu'on détermine la combinaison de 2 grammes d'hydrogène avec 16 grammes d'oxygène pour former une molécule d'eau, ces gaz, vu la température à laquelle s'opère leur combinaison, ne s'unissent pas intégralement et restent toujours en partie dissociés.

Or, si l'on admet, à titre d'hypothèse, que l'eau renferme toujours, quelle que soit d'ailleurs la température à laquelle on effectue l'électrolyse, des traces d'hydrogène et d'oxygène non combinés, mais dont les molécules se trouvent cependant assez rapprochées pour exercer entre elles une certaine attraction qui les empêche de se dégager, il sera facile alors de s'expliquer pourquoi l'on a pu constater indirectement, par la polarisation des électrodes, la décomposition de ce liquide avec une force électromotrice de beaucoup inférieure à celle exigée par la théorie.

Mais, dans ce cas, est-ce une véritable décomposition que l'on a opérée?

Évidemment non, puisque le courant électrique n'a fait autre chose que séparer seulement la petite portion des éléments de l'eau qui se trouvaient dissociés dans ce liquide, et par conséquent le travail opéré par le courant ne peut être en aucune manière assimilé au travail qu'il eût été nécessaire de produire si réellement on eût décomposé l'eau.

Il ressort de ce que je viens de dire que dans la décomposition de l'eau par le courant électrique, il y a lieu de distinguer deux phases; dans la première, ce seraient les éléments dissociés qui se porteraient vers les deux électrodes, et dans la deuxième phase, ce se-

raient les produits de la décomposition de l'eau qui se dégageraient. Or si la force électromotrice du courant, exprimée en calories, est plus faible que la chaleur de décomposition de l'eau, il n'y aura pas d'électrolyse véritable, mais seulement séparation des éléments dissociés : si, au contraire, la force électromotrice du courant est supérieure à 69 calories, la décomposition de l'eau aura lieu.

Afin d'éviter dorénavant toute confusion à cet égard, je proposerais de conserver l'expression *électrolyse* à toute décomposition chimique effectuée par l'électricité, et de désigner par *électro-pseudolyse* la séparation opérée, par le courant, des seuls produits résultant de la dissociation de l'électrolyte.

Ce que je viens de dire à propos de l'eau s'applique également bien à la décomposition des solutions salines, acides ou alcalines par le courant électrique.

Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, avec une solution diluée de chlorure d'ammonium on peut, à l'aide d'un courant dont la force électromotrice exprimée en calories est inférieure à la chaleur de décomposition de ce sel, constater un transport sensible d'ammoniaque au pôle négatif et d'acide chlorhydrique à l'autre pôle. Mais, dans ce cas, comme il est aisé de le voir, ce n'est pas une véritable électrolyse que l'on a effectuée, mais bien une *électro-pseudolyse*, puisque le courant n'a séparé que les seuls produits de la dissociation du chlorure d'ammonium dissous.

Pour qu'il y eût eu une véritable électrolyse, il aurait fallu employer un courant dont la force électromotrice exprimée en calories fût supérieure à la chaleur de décomposition du chlorure d'ammonium.

D^r D. TOMMASI.

ALLUMEUR-EXTINCTEUR POUR LAMPES ÉLECTRIQUES

DE M. RADIGUET.

L'allumeur-extincteur pour lampes électriques de M. Radiguet a pour but de permettre d'allumer ou d'éteindre les lampes électriques d'un appartement par une simple pression sur un bouton de contact, et surtout de produire l'allumage instantané d'une ou plusieurs lampes en même temps que l'extinction de celles dont la lumière est devenue inutile.

Si un certain nombre de salles situées à la suite l'une de l'autre sont munies de l'appareil de M. Radiguet, en même temps que d'une lampe électrique, et si, à l'entrée de chacune d'elles, se trouve un interrupteur à double bouton de contact, on pourra parcourir tout l'appartement en allumant chaque fois la lampe qui se trouve dans la pièce où l'on pénètre en même temps qu'on éteint celle de la pièce que l'on quitte, quel que soit le sens dans lequel on marche.

Voici comment ce résultat est obtenu :

Deux fils conducteurs en relation avec les pôles d'une source électrique traversent toutes les pièces que l'on peut avoir à éclairer. Un de ces fils est en communication permanente avec une des bornes de chacune des lampes électriques. Quant au second, il est en relation avec l'autre borne des lampes, mais par l'intermédiaire de l'allumeur-extincteur, et son circuit reste ouvert ou fermé suivant qu'on a appuyé le

doigt sur l'un ou l'autre des boutons de l'interrupteur.

L'appareil comprend deux électro-aimants dont les armatures sont placées à angle droit; l'une d'elles, horizontale, est reliée par son ressort de rappel au second fil de la pile; l'autre, qui est verticale, est en communication avec la lampe.

En faisant passer un courant dans l'électro-aimant à armature horizontale (électro-aimant allumeur), cette armature est attirée et se soulève en frottant légèrement contre l'armature verticale; cette dernière porte à une extrémité un petit crochet qui retient la première et établit avec elle un contact électrique. Ce contact ferme le circuit de la pile électrique et la lampe s'allume.

Si, au contraire, on fait passer le courant à travers le fil du second électro-aimant (électro-aimant extincteur), son armature verticale est attirée et dégage l'armature horizontale qui retombe, en rompant le circuit, la lampe s'éteint.

C'est le courant destiné à produire la lumière qu'on fait passer à volonté à travers l'un ou l'autre des électro-aimants, suivant qu'on veut allumer ou éteindre la lampe. A cet effet, chaque interrupteur comprend une pièce fixe reliée à l'un des pôles de la pile, et deux boutons métalliques qui sont en relation avec le second pôle, l'un par l'intermédiaire de l'électro-aimant allumeur, l'autre par l'intermédiaire de l'électro-aimant extincteur, et sur l'un desquels on appuie le doigt pendant un instant, suivant qu'on veut allumer ou éteindre la lampe.

Les interrupteurs qui, placés entre deux salles, doivent en même temps allumer la lampe située dans une d'elles et éteindre celle de l'autre, sont semblables;

mais un des boutons mobiles est en relation en même temps avec l'électro-aimant allumeur de la première pièce et avec l'électro-aimant extincteur de la seconde, tandis que l'autre bouton communique avec l'électro-aimant extincteur de la première pièce et avec l'électro-aimant allumeur de la seconde, de sorte qu'on peut, en appuyant sur l'un ou l'autre des boutons, allumer la lampe de la pièce qu'on veut éclairer, en même temps qu'on éteint celle de l'autre, si elle était allumée.

Les salles ont ordinairement deux portes d'accès, aussi chaque électro-aimant de l'allumeur-extincteur Radiguet est-il muni de trois circuits distincts, dont un est en communication avec l'interrupteur placé dans la pièce même et est destiné à produire l'allumage direct ; les deux autres circuits aboutissent chacun à l'un des interrupteurs qui se trouvent aux deux portes d'entrée.

La pile adoptée par M. Radiguet est à bichromate de potasse. Chaque élément comprend un vase extérieur en grès contenant le bichromate, un cylindre de charbon et un vase poreux à l'intérieur duquel se trouve un zinc amalgamé qui plonge dans l'eau acidulée. La tête et le fond du vase poreux, ainsi que la tête du charbon, sont paraffinés, et le zinc plonge dans une petite cuvette remplie de mercure, dont les parois sont inclinées. Cette dernière disposition empêche le mercure de se mêler au sulfate de zinc, qui glisse le long des surfaces extérieures de la cuvette, et contribue à maintenir en bon état les éléments, dont la consommation est à peu près nulle lorsque le circuit est ouvert.

Six éléments de cette pile suffisent pour faire fonctionner des lampes à incandescence de trois bougies.

Quant à l'entretien, il consiste à changer l'eau acidulée, après sept à huit heures d'éclairage, et le bichromate après trente heures environ.

L'emploi de l'allumeur-extincteur de M. Radiguet se trouve naturellement indiqué pour tous les cas où, n'ayant besoin que d'une lampe allumée à la fois, on doit parcourir successivement un certain nombre de pièces en éclairant toujours devant soi et en faisant l'obscurité en arrière. Il peut surtout être utile lorsqu'il y a un certain danger à faire circuler des lampes ou des bougies allumées dans les salles d'archives, les bibliothèques, les entrepôts d'alcool, les magasins, par exemple.

La durée des tournées de contrôle ne dépassant pas une heure, en général, il suffit, si l'on emploie comme source électrique la pile de M. Radiguet, de remplacer l'acide sulfurique tous les sept ou huit jours, et le bichromate de potasse tous les mois. L'usage de l'allumeur-extincteur deviendra notablement plus commode encore le jour où l'électricité pourra être distribuée à domicile, comme l'eau et le gaz.

B.

MANIPULATEUR A DÉCHARGE

DE M. SCHAEFFER

SOUS-INGÉNIEUR DES TÉLÉGRAPHES

Cet appareil permet de décharger la ligne à la terre, après et avant chaque émission de courant.

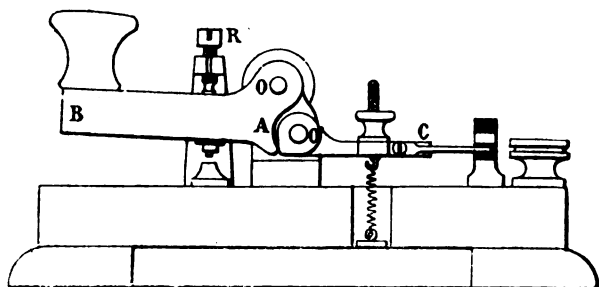
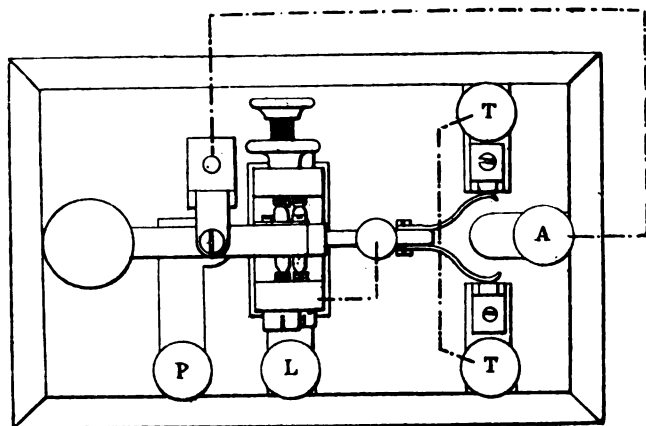
Il repose sur le principe de l'amplification mécanique du mouvement du levier Morse, de façon à donner la faculté d'intercaler un ou plusieurs contacts entre les positions extrêmes de pile et de réception.

Le modèle qui a été mis à l'essai par l'Administration présente la même disposition générale que le manipulateur Morse, sans s'écarter de ses dimensions; il ne comporte qu'un contact intermédiaire; mais, en augmentant légèrement la longueur des leviers, il serait facile d'intercaler trois contacts, deux contacts de terre et un contact intermédiaire de pile de décharge.

Le levier est double; la première partie AB, qui est actionnée directement par la main de l'employé, oscille entre le contact inférieur de pile et la vis butoir supérieure R de réception. Son jeu est celui du levier Morse. Ce premier bras agit par frottement sur un second levier AC mobile autour d'un axe O' placé au-dessous de l'axe O du précédent et encastré dans les mêmes massifs.

Aussitôt que le levier AB vient à se déplacer de sa position de repos, la came qui termine le levier AC et qui est en contact permanent avec l'extrémité de AB

glisse, à cause de sa forme particulière, contre cette surface, et il en résulte une rotation très amplifiée du levier autour de l'axe O'.



Les contacts de décharge sont donnés par deux petits ressorts plats, en forme d'antennes, qui sont placés symétriquement de part et d'autre de l'extrémité C du levier, et frottent en passant contre deux contacts de mise à la terre.

Indépendamment du contact direct par les surfaces frottantes, les deux leviers AB et AC sont reliés par

un conducteur métallique qui réunit le massif de l'appareil au ressort de rappel.

De même une communication est établie entre la vis butoir R et la borne correspondant à l'entrée du récepteur.

Il est facile de se rendre compte du jeu de l'appareil. Lorsqu'on transmet, les courants sont émis sur la ligne à travers le levier AB, comme dans le manipulateur ordinaire.

Quand celui-ci touche le contact de pile, les antennes qui terminent AC sont dans la position supérieure en contact avec de petites plaques isolantes d'ivoire ou d'ébonite.

Aussitôt qu'on cesse d'appuyer sur le bouton, le levier AC, sollicité par le ressort de rappel s'abaisse, et les antennes rencontrant une petite surface métallique mettent la ligne à la terre pendant un instant, à travers le massif et le ressort de rappel. Dans la position de repos, celles-ci sont, comme dans la position de travail, en contact avec de petites plaques isolantes.

Pour la réception, le courant entre par la borne L, traverse le levier AB, la vis butoir et son support, et sort par la borne A.

Ce manipulateur, sous sa forme actuelle, est un peu plus dur que la clé Morse ordinaire ; mais il serait facile de remédier à cet inconvénient en modifiant la longueur des leviers, et il ne paraît pas douteux que l'appareil, une fois bien construit et bien réglé, ne puisse être comparé avec avantage aux autres dispositifs imaginés en vue d'obtenir le même résultat.

CHRONIQUE.

Sur les propriétés thermo-électriques de quelques substances.

Par M. G. CHAPERON.

Bien que l'on ait déjà décrit de nombreuses combinaisons de conducteurs produisant, sous l'influence de la chaleur, des forces électromotrices plus ou moins élevées, la recherche des corps qui donnent de grandes forces *e. m.* présentant aujourd'hui un assez grand intérêt à cause de leur application possible aux générateurs thermo électriques; j'ai été conduit à étudier méthodiquement, à ce point de vue, un certain nombre de composés chimiques, choisis surtout parmi ceux que l'on peut reproduire facilement dans leur état actif.

La méthode employée pour cette recherche a pour caractère de pouvoir s'appliquer à des fragments de forme quelconque et au besoin de très petites dimensions des corps examinés. Elle consiste à appliquer ces fragments, par deux de leurs points, sur deux parois métalliques conduisant bien la chaleur, dont on évalue le plus approximativement possible les températures, et qui servent d'électrodes pour constater et mesurer la force électromotrice du couple formé. L'une des parois est celle d'un mince tube d'argent, traversé par un courant d'eau à la température ambiante et faisant partie d'une pince avec laquelle on saisit le corps étudié. Au moyen de cette pince, on applique un deuxième point du corps contre une paroi chaude, celle d'un creuset de fer plein d'alliage fusible, et où plonge un thermomètre.

Le contact doit être assuré par une pression constante; on opère alors en mesurant, pendant des variations lentes de la température, une série des valeurs de la différence de poten-

tiel des deux parois. Le creuset de fer est relié à l'appareil de mesures électriques par un fil d'argent assez long, pour que son extrémité reste froide. La force électromotrice mesurée est donc, en vertu de la loi des contacts successifs, celle du couple formé par le corps que l'on étudie et l'argent.

Pour certains composés susceptibles d'attaquer le fer, une feuille mince d'argent est aussi interposée à leur point de contact avec le creuset.

J'ai également employé, pour des températures plus élevées, une autre disposition dans laquelle le contact chaud est pris en un point d'un barreau de cuivre argenté chauffé par une extrémité. On évalue la température d'un autre point de la même section de ce barreau avec un deuxième corps déjà étudié qui sert aussi de thermomètre.

Dans les divers couples ainsi constitués, les contacts des substances actives avec les électrodes doivent avoir lieu par des surfaces petites et aussi distantes que possible, afin que les températures de ces contacts soient suffisamment voisines de celles des électrodes que seules on peut évaluer. On obtient ainsi, avec des substances généralement conductrices, des éléments d'une énorme résistance; aussi la mesure rapide des forces électromotrices n'est-elle rendue pratiquement possible que par l'emploi de l'électromètre de Lippmann. Il ne sert d'ailleurs qu'à constater l'équilibre de la force mesurée et de celle fournie par un potentiomètre à fil de forme réduite donnant le $\frac{1}{5000}$ de volt; on peut, avec cet ensemble, obtenir assez facilement des courbes représentant les lois de variations des forces électromotrices en fonction de la chute de température.

Voici quelques exemples de mesures ainsi faites sur des substances peu étudiées. Les nombres fournis par divers échantillons d'un même corps diffèrent notablement, comme on le sait; on a choisi, en général, des exemplaires actifs, mais dont la préparation ne présente aucune difficulté spéciale.

Valeurs des forces électromotrices.

Corps positifs.

	De 20° à 120°.	De 20° à 400°.
	volt	volt
Iodure d'argent.	0,115	0,192
Phosphure de zinc.	0,107	0,362
Sulfure d'étain.	0,052	0,227
Galène cristallisée <i>a</i> (*).	0,034	»
Lame très mince d'oxyde de cuivre.	0,030	»
Arséniure de zinc (all.).	0,014	»
Antimoniure de zinc.	0,018	»

Corps négatifs.

Sulfure d'argent.	0,091	0,108
Fer spéculaire.	0,063	0,250
Galène cristallisée <i>b</i> (*).	0,029	»

La propriété de former des éléments thermo-électriques puissants a également été reconnue dans un assez grand nombre d'autres substances qui n'ont pu être encore l'objet de mesures suffisantes (sulfure d'antimoine, iodure de plomb, wolfram, oxyde d'étain, silicium cristallisé, etc.). Les courbes représentant la force en fonction de la chute de température indiquent, en général, une marche uniforme à partir d'un certain point; elles ont été suivies jusqu'à 250° ou 300°. Cependant, pour l'iodure et surtout le sulfure d'argent, la loi de variation subit un changement brusque et ne paraît guère susceptible d'être représentée par une fonction continue.

Ce dernier corps (le sulfure d'argent) présente d'ailleurs une propriété remarquable, celle de se réduire localement à l'état métallique dans un grand nombre de circonstances, où il est traversé par un flux de chaleur entre deux surfaces conductrices. On produit le plus facilement ce phénomène en plaçant une lame de sulfure entre une plaque d'argent chauffée et un tube refroidi du même métal. L'ensemble étant isolé, il se forme en peu d'instant un dépôt d'argent sur certains points du contact froid (**).

(*) Les deux variétés de galène existent dans un même échantillon provenant de Pontgibaud; on n'a pourtant encore signalé aucune hémiedrie de ce cristal cubique.

(**) Autre particularité intéressante: on ne retrouve pas le soufre qui devrait être séparé ou attaquer l'électrode froide si le courant produisait à l'aller comme au retour une électrolyse ordinaire.

Ce dépôt suppose un courant allant du sulfure au tube froid, c'est-à-dire en sens contraire de celui que donne l'effet thermo-électrique : il y a donc un courant fermé entre les deux surfaces, et il faut que le contact du sulfure et de l'argent se fasse par des points qui, laissant également passer ce courant, ne sont, cependant, point dans les mêmes conditions pour l'échange des températures.

(Comptes rendus.)

Loi de la conductibilité électrique des solutions salines de moyenne concentration.

Par M. E. BOUTY.

Entre 0° et 20° la résistance d'une dissolution saline étendue est exactement représentée par la formule binôme

$$(1) \quad r_t = r_0 \frac{1}{1 + \alpha t}.$$

Le coefficient α , à partir d'une certaine dilution, souvent assez médiocre, ne diffère plus sensiblement de la valeur limite 0,0333, qui convient aux liqueurs les plus étendues.

Je suppose cette condition réalisée pour un certain sel, le sulfate de zinc par exemple, et je mesure le rapport R_0 de sa résistance moléculaire à 0° à celle du chlorure de potassium de même concentration atomique, c'est-à-dire contenant le même nombre m d'équivalents de sel par litre de la dissolution. Ce rapport, en général plus grand que 1, tend vers la limite 1 à mesure que m tend vers zéro. C'est la loi d'équivalents que j'ai énoncée il y a deux ans (*).

Posons

$$(2) \quad R_0 = 1 + f(m),$$

et proposons-nous de déterminer la fonction $f(m)$. Les mesures relatives à un sel particulier, soit le sulfate de zinc, montrent que, si l'on fait varier m suivant les termes d'une pro-

(*) *Comptes rendus*, t. XCVIII, p. 140.

gression géométrique, $f(m)$ varie suivant une autre progression géométrique. On a donc

$$f(m) = Am^c.$$

En essayant de déterminer A et c pour divers sels neutres normaux, on reconnaît bien vite que, tandis que A varie largement d'un sel à un autre, on peut considérer c comme très sensiblement constant et égal à $1/3$. Les tableaux suivants, relatifs à des sels pour lesquels R_0 varie dans des limites très larges, montreront la concordance du calcul ainsi effectué et de l'observation; m désigne le nombre d'équivalents en grammes par litre de la dissolution.

Sulfate de zinc.

m	R_0		Différence.
	observé.	calculé.	
0,5	3,335	3,348	+ 0,013
0,2	2,850	2,732	— 0,118
0,1	2,420	2,375	— 0,045
0,05	2,159	2,091	— 0,068
0,02	1,815	1,805	— 0,010
0,01	1,639	1,639	0,000
0,005	1,485	1,507	+ 0,022
0,002	1,283	1,374	+ 0,091
0,001	1,267	1,297	+ 0,030
0,00025	1,158	1,187	+ 0,029

Nitrate de plomb

m	R_0		Différence.
	observé.	calculé.	
0,5	1,886	1,886	0,000
0,25	1,755	1,703	— 0,052
0,125	1,559	1,558	— 0,001
0,1	1,525	1,518	— 0,007
0,05	1,424	1,411	— 0,013
0,02	1,266	1,303	+ 0,037
0,01	1,141	1,240	+ 0,099
0,005	1,185	1,191	+ 0,006
0,002	1,096	1,141	+ 0,045
0,001	1,096	1,112	+ 0,016
0,00025	1,049	1,069	+ 0,020

Il ressort clairement de ces tableaux .

1° Que la limite du rapport R_0 ne peut différer de l'unité d'une quantité appréciable. Pour les sels étudiés, *la loi d'équivalents est donc une loi limite rigoureusement exacte*;

2° Que, pour les mêmes sels et des valeurs de $m < 0,5$, on a

$$(3) \quad R_0 = 1 + Am^{\frac{1}{3}}.$$

J'ai trouvé pour A les valeurs suivantes :

SEL.	A
Sulfate de zinc	2,959
Nitrate de plomb.	1,116
Sulfate de potasse	0,359
Nitrate de potasse	0,240

On remarquera que la distance moyenne l de deux molécules salines est en raison inverse de la racine cubique du nombre des molécules, c'est-à-dire en raison inverse de $m^{\frac{1}{3}}$. On peut donc écrire la formule (3)

$$(3 \text{ bis}) \quad R_0 = 1 + \frac{A'}{l}.$$

L'écart d'un même sel par rapport à la loi des équivalents varie en raison inverse de la distance moyenne de ses molécules.

Désignons par ρ_0 la résistance moléculaire du chlorure de potassium, par ρ'_0 celle d'un sel normal; on a, par définition,

$$(4) \quad \rho'_0 = R_0 \rho_0 = \rho_0 \left(1 + Am^{\frac{1}{3}} \right).$$

J'ai donné précédemment les valeurs absolues de ρ_0 pour les diverses concentrations. On pourra donc calculer, aussi en valeur absolue, les résistances moléculaires de tous les sels pour lesquels A est connu.

Pour des valeurs de $m < 0,1$, le coefficient α relatif au chlorure de potassium est à peu près constant, et l'on reconnaîtra que l'on a sensiblement

$$(5) \quad \rho_0 = 0,8 \left(1 + 0,25m^{\frac{1}{2}} \right).$$

en prenant pour unité la résistance moléculaire de la solution normale de chlorure de potassium. Pour ces grandes dilu-

tions, on a donc

$$(6) \quad \rho'_0 = 0,8 \left(1 + 0,25m^{\frac{1}{3}}\right) \left(1 + Am^{\frac{1}{3}}\right)$$

et, quand le coefficient A n'est pas trop grand, sensiblement,

$$\rho'_0 = 0,8 \left[1 + (A + 0,25)m^{\frac{1}{3}}\right] = 0,8 \left(1 + \frac{B}{l}\right).$$

L'excès de la résistance spécifique d'un sel sur sa valeur limite est à peu près en raison inverse de la distance moyenne des molécules ().*

(Comptes rendus.)

Sur la vitesse de propagation de l'électricité.

(Extrait du *Bulletin de la Société française de physique*, Séance du 4 juin 1886.)

M. Vaschy expose le résultat de calculs qu'il a faits en vue de déterminer la vitesse de propagation de l'électricité le long d'un fil conducteur rectiligne.

Après avoir rappelé les tentatives faites par Wheatstone, Fizeau et Gounelle, etc., pour mesurer cette vitesse, ainsi que la théorie de la propagation établie par Sir W. Thomson en partant de l'équation connue

$$(1) \quad \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR \frac{\partial V}{\partial t},$$

il fait observer que cette théorie conduit à une vitesse infinie, mais qu'il suffit, pour trouver une vitesse finie et indépendante de la longueur du fil conducteur, de tenir compte, non seulement de la capacité C et de la résistance R, mais encore de la self-induction L du fil. L'équation précédente ainsi com-

(*) Cette dernière observation a été publiée pour la première fois par M. F. Kohlrausch (*Wied. Annalen*, t. XXVI, p. 161). Les expériences du professeur de Würzburg, suffisamment d'accord avec les miennes, pour les liqueurs de concentration moyenne, s'en écartent notablement pour les liqueurs les plus diluées. Je crois avoir suffisamment indiqué ailleurs la raison de ces divergences (Bouty et Foussereau, *Comptes rendus*, t. CI, p. 373).

plétée devient

$$(2) \quad \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR \frac{\partial V}{\partial t} + CL \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}.$$

Elle est de même forme que l'équation des cordes vibrantes que l'on obtient en tenant compte de la tension T , de la masse σ par unité de longueur et de la résistance de l'air (coefficient k), savoir

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{k}{T} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\sigma}{T} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}.$$

La vitesse de propagation du mouvement le long de la corde est $a = \sqrt{\frac{T}{\sigma}}$. Par analogie, la vitesse de propagation de l'é-

lectricité est donc $a = \frac{1}{\sqrt{CL}}$. Les ondes électriques, toutefois, sont déformées ou diffusées d'autant plus que la résistance R est plus grande, et rigoureusement il n'y aurait lieu de les considérer comme se propageant avec une vitesse uniforme que dans le cas limite où R serait nul ou négligeable.

Si l'on fait le calcul de la vitesse a pour un fil aérien de diamètre *infinitement petit*, les formules de C et de L conduisent à la valeur $a = u$, u étant le rapport des unités électrostatiques et électromagnétiques, c'est-à-dire environ 300.000 kilomètres par seconde.

On trouve le même résultat en considérant la propagation de l'électricité sur deux fils parallèles isolés dans un diélectrique indéfini, en tenant compte de l'induction mutuelle et de la self-induction de ces fils, ainsi que de leur capacité électrostatique.

L'équation générale (2), en tenant compte de la résistance R , admet la solution $V = e^{-bx} \sin m \left(t - \frac{x}{a} \right)$, m , a et b étant des constantes. Donc, à part le coefficient d'affaiblissement e^{-bx} , on peut dire que des ondes sinusoïdales se propagent avec une vitesse a , laquelle est inférieure à $\frac{1}{\sqrt{CL}}$. L'extrémité

du fil étant à la terre, les ondes s'y réfléchissent, et les ondes d'aller et de retour par leur superposition donnent des nœuds

et des ventres, dont la position peut être déterminée au moyen d'un électrodynamomètre et fournir une valeur de la vitesse α .

L'équation (2) ne peut être établie et n'a plus de sens au point du fil où l'onde commence à arriver, ni en un point où la variation du courant serait trop brusque. Elle n'est donc qu'une approximation, très suffisante en général, mais qui, dans des cas extrêmes, conduirait à des vitesses aussi grandes qu'on le voudrait, ce qui est absurde.

M. Vaschy rappelle enfin que Maxwell a établi sa théorie électromagnétique de la lumière dans le cas de milieux homogènes indéfinis, soit diélectriques, soit imparfaitement isolants, soit bons conducteurs. Dans le cas d'un milieu conducteur, il arrive à une équation analogue à l'équation (1), qui est aussi celle de Fourier pour la propagation de la chaleur; mais la résistance R y est remplacée par la conductibilité.

M. Hugoniot fait observer que l'équation

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR \frac{\partial V}{\partial t} + CL \frac{\partial^2 V}{\partial t^2},$$

étant supposée rigoureusement établie, fournit pour la vitesse de propagation une valeur constante et égale à $\sqrt{\frac{1}{CL}}$.

Il faut pour cela définir la vitesse de propagation de l'électricité de la façon suivante : Un fil conducteur étant primitivement à un potentiel V_0 , on fait varier d'une manière continue le potentiel de son extrémité. Il arrive alors qu'à chaque instant le fil est séparé par un point A en deux parties : dans l'une le potentiel est encore égal à V_0 , dans l'autre il est variable; la vitesse du point A est la vitesse de propagation de l'électricité.

M. Cornu fait remarquer que l'on revient, par la force des choses, à la notion d'une propagation de l'électricité proportionnelle au temps, notion abandonnée pendant de longues années, malgré les résultats expérimentaux de MM. Fizeau et Gounelle, pour chercher à identifier cette propagation à la diffusion de la chaleur. Les expériences récentes de M. Werner Siemens et de M. Hagenbach sur la propagation à travers

les fils aériens ont confirmé les idées de MM. Fizeau et Gounelle. La pratique télégraphique avait d'ailleurs montré que, même dans les câbles, le rendement est en raison inverse plutôt de la longueur que du carré de la longueur du câble; résultat tout à fait favorable à l'existence d'une vitesse de propagation constante. (*Comptes rendus*, t. LXXXVI, p. 1120.)

M. Lippmann dit que les conclusions de M. Vaschy sont d'accord avec celles que M. Kirchhoff avait établies en 1857. Ce physicien a montré qu'une perturbation électrique se propage dans un fil infiniment mince avec une vitesse égale à celle de la lumière. Le travail de M. Kirchhoff peut être considéré comme le point de départ de la théorie électromagnétique de la lumière.

Sur un procédé permettant de compter mécaniquement les oscillations d'un pendule entièrement libre.

PAR M. M. DEPREZ.

La mesure de l'intensité de la pesanteur dans un lieu donné se déduit, comme l'on sait, de la durée de l'oscillation du pendule. Il y a donc un grand intérêt à perfectionner les procédés qui permettent de déterminer cette durée d'oscillation avec une grande précision. La seule méthode actuellement connue consiste à compter le nombre d'oscillations accomplies dans un temps donné par un pendule entièrement libre; plus la durée de l'expérience est grande, plus les résultats sont précis, mais aussi plus est grande la fatigue de l'observateur.

J'ai cherché, il y a longtemps déjà, s'il ne serait pas possible de réaliser un appareil qui compterait le nombre des oscillations mécaniquement absolument comme les compteurs de tours employés journellement dans l'industrie, *mais satisfaisant à la condition de n'exercer aucune action mécanique sur le pendule*. Cette dernière condition doit être observée avec une grande rigueur; car, si elle ne l'était pas, les résultats obtenus n'auraient aucune valeur, puisque les oscil-

lations du pendule, au lieu d'être accomplies sous l'influence de la pesanteur seule, seraient affectées par l'action d'une force de grandeur inconnue. Il est évident que cette condition impose l'emploi d'un moyen optique pour actionner le compteur des oscillations, puisque la lumière est le seul agent qui n'exerce aucune action mécanique sur les corps qu'elle frappe. La première solution qui me vint à l'esprit était basée sur l'action explosive exercée par un rayon lumineux sur un mélange d'hydrogène et de chlore; je ne cherchai même pas à la réaliser et j'avais perdu de vue cette question depuis très longtemps, lorsque, il y a six mois environ, notre confrère M. d'Abbadie me fit savoir qu'elle avait pour lui un intérêt tout particulier; il me parla même d'une solution également optique fondée sur l'emploi d'un fil de sélénium traversé par un courant électrique et frappé à chaque oscillation par un rayon lumineux qui détermine dans le sélénium des variations de résistance qu'il est facile d'utiliser ensuite pour manœuvrer un compteur électromagnétique. Ce moyen serait irréprochable si les variations de résistance du sélénium étaient instantanées. N'ayant pas de renseignements à cet égard, j'ai cherché dans une autre voie et j'ai pensé que la sensibilité et l'instantanéité bien connues des petites piles thermo-électriques employées pour l'étude de la chaleur rayonnante permettraient d'atteindre le but cherché. Il suffirait de munir le pendule d'un écran pourvu d'une fente de 30 à 40 millimètres de longueur et de 3 à 4 millimètres de largeur. Un faisceau de rayons lumineux emprunté à une forte lampe à pétrole à mèche plate, concentré au besoin par une lentille cylindrique traversant cette fente à chaque oscillation, viendrait frapper une pile thermo-électrique dont toutes les soudures de même parité seraient échelonnées sur une longueur égale à celle de la fente. On aurait donc à chaque oscillation un courant électrique qui, lancé dans un galvanomètre très sensible et fortement apériodique, reproduirait dans celui-ci toutes les oscillations du pendule. L'aiguille de ce galvanomètre ne pourrait accomplir qu'une course très limitée et ferait fonction de relais, chacun de ces mouvements ayant pour effet de fermer un courant auxiliaire passant dans un compteur électrique facile à imaginer.

Quoique cet instrument ne soit pas encore construit, j'ai cru bon d'en faire connaître le principe, et je m'empresserai d'en communiquer les résultats à l'Académie dès que je le pourrai.

(Comptes rendus.)

Sur un chronomètre à embrayage magnétique.

Par M. A. D'ARSONVAL.

L'appareil que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie a été imaginé à l'instigation de mon maître, M. le professeur Brown-Séquard, qui désirait reprendre avec mon concours ses anciennes expériences sur la vitesse de transmission des impressions sensibles à travers la moelle épinière normale ou pathologique. Mon éminent maître a montré, en effet, le premier, en 1859 (*Journal du progrès des sciences médicales*, p. 323), qu'une impression sensitive subissait un retard considérable par son passage à travers la moelle.

Depuis, un grand nombre de physiologistes (Helmholtz, Bast, Chauveau, Marey, Hermann, etc.), ont mesuré avec une grande précision la vitesse absolue de l'agent nerveux dans les nerfs. Le procédé généralement employé par les physiologistes, depuis les travaux de Marey surtout, est une application de la méthode graphique, qui doit tant à cet auteur.

Un cylindre enfumé, conduit par un régulateur Foucault, reçoit deux tracés parallèles : l'un, qui donne le temps en centièmes ou en millièmes de seconde, est une sinusoïde tracée par les vibrations d'un diapason; le second tracé, qui marque le début et la fin du phénomène, est donné par un signal électromagnétique de M. Marcel Deprez ou par la plume du tambour à levier de M. Marey. Cette méthode est irréprochable comme précision; mais elle a l'inconvénient de nécessiter un apprentissage et une série d'opérations qu'on ne peut songer à demander au clinicien et encore moins au praticien dans sa clientèle privée. L'appareil que je vais décrire donne la mesure du temps en centièmes de seconde, comme

un chronomètre ordinaire, par le simple déplacement d'une aiguille sur un cadran, sans employer la méthode graphique.

Il se compose essentiellement d'un mouvement d'horlogerie, muni d'un régulateur Foucault, qui fait faire exactement deux tours par seconde à un axe terminé par un petit plateau circulaire de 12 millimètres de diamètre, recouvert d'une mince lame de caoutchouc. En face de ce plateau et à une distance de 1 millimètre environ, s'en trouve un second en fer-blanc, de mêmes dimensions, et qui lui est parallèle.

Ce second plateau termine un petit axe très court portant à son autre extrémité un mince fil d'aluminium qui lui est perpendiculaire. Ce fil d'aluminium, servant d'aiguille, se meut sur un cadran divisé en 50 parties.

Un ressort antagoniste pousse constamment le plateau de fer-blanc contre le plateau de l'axe mobile; sous cette pression, les deux axes n'en font qu'un, et l'aiguille d'aluminium tourne autour du cadran avec une vitesse de deux tours par seconde.

Un petit électro-aimant se trouve derrière le plateau de fer-blanc qui lui sert d'armature,

Si on lance un courant dans l'électro-aimant, le disque de fer-blanc est attiré : il se sépare du plateau tournant, et l'aiguille d'aluminium se trouve immobilisée sur le cadran tant que passe le courant. Au moment de la rupture du circuit, le ressort antagoniste produit l'embrayage, l'aiguille part instantanément à la vitesse de deux tours par seconde. L'extrême légèreté des pièces et la nature de l'électro-aimant rendent le temps perdu semblable à celui du signal électromagnétique de M. Marcel Deprez.

Le déplacement de l'aiguille sur le cadran mesure donc en centièmes de seconde le temps pendant lequel le courant électrique s'est trouvé rompu dans l'électro-aimant.

Cela posé, pour mesurer la vitesse d'une impression, le dispositif est des plus simples : l'expérimentateur touche le sujet avec un petit manipulateur composé d'un ressort appuyant sur une pointe. Au moment même où a lieu le contact avec la peau, le ressort abandonne la pointe : le courant se trouvant rompu, l'aiguille part du zéro à la vitesse de deux tours par seconde. Le sujet, d'autre part, tient dans la main une

presselle électrique sur laquelle il appuie aussitôt qu'il a ressenti l'impression. Cette pression rétablit le courant et arrête par conséquent l'aiguille en animant l'électro-aimant. Le temps qui s'est écoulé entre le moment de l'excitation et celui de la perception signalée se trouve ainsi donné en centièmes de seconde par le déplacement de l'aiguille sur le cadran divisé. Ce petit appareil, très habilement construit sur indications par M. Ch. Verdin, est de dimensions minimales ; il se loge dans une boîte circulaire de 20 centimètres de diamètre sur 6 centimètres d'épaisseur. Son faible volume et la facilité de son maniement en font un appareil essentiellement clinique, destiné dans bien des cas à éclairer la pathologie nerveuse.

Là ne se borne pas d'ailleurs son utilité : il est appelé également à rendre des services pour la mesure des phénomènes de courte durée, mesure pour laquelle on recule souvent devant la complication de la méthode graphique.

(Comptes rendus.)

Sons engendrés dans les lames vibrantes par des décharges d'électricité statique.

Par M. E. SEMMOLA.

Si une lame métallique ou une corde sonore est traversée par les décharges très fréquentes d'une machine électrique, elles donnent un son qui est très faible et tout à fait distinct du bruit de l'étincelle. Pour entendre ces sons, il faut fixer la lame métallique à l'extrémité d'un collecteur sonore en ébonite, qu'on approche de l'oreille. Les sons deviennent plus aigus à mesure que les décharges se succèdent plus fréquemment. On obtient aussi le son par une lame métallique placée tout près d'un conducteur traversé par les décharges électriques : la lame induite doit communiquer avec la terre, et l'on pourrait dire que ces sons excités par influence sont comme un phénomène de choc en retour.

Électrolyse secondaire.

Par M. E. SEMMOLA.

On immerge un petit ruban de platine dans l'eau acidulée d'un voltamètre, de manière que ses bouts soient en regard des électrodes du voltamètre. Si on laisse passer dans le voltamètre un courant électrique suffisamment intense, on a un dégagement d'hydrogène et d'oxygène non seulement aux électrodes du voltamètre, mais aussi aux extrémités du ruban de platine immergé, que j'appelle troisième électrode et qui fonctionne tout à fait comme un nouveau voltamètre. Cette électrolyse secondaire varie d'intensité par beaucoup de causes, et elle cesse tout à fait si le courant n'est pas suffisamment fort; mais, si, au lieu du ruban de platine, on emploie un métal facilement oxydable, l'électrolyse secondaire devient beaucoup plus forte. L'hydrogène, naturellement, se dégage seulement du côté négatif, l'oxygène se fixe sur l'autre extrémité. Dans mes recherches, j'ai préféré le zinc amalgamé, parce qu'il n'est pas attaqué par l'eau acidulée, lorsqu'il n'y a pas de courant. En fermant le circuit, on voit l'hydrogène se développer sur toute la moitié négative du ruban de zinc immergé; les bulles sont très petites tout près de la partie moyenne et vont en grossissant à mesure qu'elles se dégagent plus près des extrémités. Si, au lieu d'un seul ruban, on en immerge dans l'eau plusieurs morceaux, sur chacun d'eux il y aura dégagement de gaz. L'électrolyse secondaire est naturellement l'effet du courant qui se divise par le ruban immergé.

(Comptes rendus.)

Reproduction photographique des effets lumineux de l'électricité, sans l'intermédiaire des appareils photographiques ordinaires.

M. le Dr Boudet de Paris a fait, en 1884, une série d'expériences ayant trait à la *conductibilité électrique des gaz ra-*

réfés. Les résultats de ces expériences confirmaient pleinement l'opinion de M. Edlund sur la conductibilité du *vide* ; en outre, ils mettaient en évidence le lieu de formation de la *force contre-électromotrice*, qui prend naissance dans un vaisseau de verre, vide d'air, et traversé par un courant de haute tension.

En étudiant les effets lumineux des décharges à travers les gaz, M. Boudet de Paris a obtenu dernièrement des résultats curieux, qu'il a communiqués à la Société internationale des électriciens (mars et mai 1886), et dont nous donnons l'extrait suivant :

« Voulant fixer ces phénomènes d'une façon durable, j'essayai de photographier les décharges au moyen des appareils ordinaires : je n'obtins que des résultats très imparfaits.

« Dans ces derniers temps, je tentai de nouveau l'expérience, en opérant directement sur la plaque au gélatinobromure d'argent, et sans même utiliser l'appareil de M. Ducretel.

« Une plaque photographique étant mise à plat (le côté sensible en haut), je posai dessus, à une certaine distance l'une de l'autre, deux pièces d'argent, l'une de cinq francs, l'autre de cinquante centimes. Je chargeai l'un des condensateurs ; puis, mettant son armature extérieure en rapport avec la pièce de cinq francs, je posai le bouton métallique de la tige intérieure sur la pièce de cinquante centimes. L'étincelle éclata aussitôt entre les deux pièces. Je renouvelai la même opération pour chaque variété de condensateur, puis je portai la plaque dans les bains de révélation et de fixation ordinaires. Voici le cliché et l'épreuve positive que j'obtins.

« Vous voyez que tous les détails caractéristiques de chaque décharge s'y trouvent reproduits avec la plus grande fidélité. Mon but était atteint.

« J'appliquai ensuite la même méthode de reproduction à l'étude de l'*effluve* et de la *décharge de la machine de Voss* ; voici les résultats photographiques de ces expériences successives.

« Mais, en étudiant ces clichés, particulièrement le cliché n° 4, je m'aperçus que les pièces d'argent avaient laissé l'empreinte de leur effigie. Frappé de ce fait, je plaçai au milieu

de la plaque photographique une seule pièce d'argent que je mis en rapport avec l'un des pôles de la machine de Voss ; puis je promenai tout autour d'elle un excitateur relié à l'autre pôle de la machine. La pièce fut ainsi entourée d'une auréole d'étincelles ayant environ 2 centimètres de longueur. Comme vous pouvez en juger par l'épreuve que je place sous vos yeux, tous les détails de la pièce furent parfaitement reproduits.

« L'interprétation de ce phénomène n'était pas des plus faciles ; la sensibilisation du bromure d'argent devait-elle être attribuée à un *effet mécanique* de l'électricité, ou au *pouvoir éclairant* des étincelles, ou à une *action chimique* analogue à celle qui a eu lieu dans l'expérience bien connue du « portrait de Franklin » ?

« *A priori*, il m'a semblé possible d'écarter l'intervention d'un effet chimique direct ; d'autres expériences sont, d'ailleurs, venues confirmer cette opinion.

« Restaient les actions mécaniques et lumineuses : voici la série d'expériences qui m'ont permis de résoudre le problème.

« Lorsqu'on examine l'épreuve positive de la pièce de cinq francs, on voit que les parties saillantes de l'effigie sont venues en blanc (en noir sur le cliché négatif), exactement comme si l'on avait tiré une photographie au moyen des appareils ordinaires.

« Il était donc tout indiqué de faire une contre-épreuve au moyen d'un corps métallique « gravé en creux ». J'ai alors opéré avec un vieux cachet, un sceau très ancien de la ville de Padoue. Le résultat obtenu parut concluant, ainsi que vous pouvez en juger par l'examen de l'épreuve. Vous voyez que, cette fois encore, l'impression du cliché a eu lieu comme s'il s'était agi d'une photographie ordinaire ; les creux sont venus en noir sur l'épreuve positive.

« Poussant plus loin mes recherches, j'ai dessiné à l'encre ordinaire une figure quelconque sur un morceau de papier très épais, que j'ai ensuite interposé entre un disque métallique et la plaque photographique. Cette fois encore, la reproduction du dessin s'est opérée comme dans le cas d'une photographie ordinaire.

« Ce qu'il y a de particulièrement intéressant dans l'espèce,

c'est que, malgré son épaisseur, le papier ayant été, sur plusieurs points de son contour, traversé par des étincelles, le dessin n'a pas été reproduit au niveau de ces points. Il devenait donc difficile d'invoquer l'action mécanique de la décharge pour expliquer l'impression du bromure d'argent.

« D'un autre côté, si cette impression est bien la conséquence du *pouvoir éclairant* de la décharge, on devait augmenter l'effet obtenu, en facilitant l'éclairage au-dessous du dessin à reproduire, c'est-à-dire en posant la plaque photographique sur une glace étamée. L'expérience donna pleinement raison à cette hypothèse; les clichés devinrent beaucoup plus nets et les oppositions de clarté et d'ombre beaucoup plus tranchées.

« En outre, je pensai que l'effluve, à cause de sa coloration violette, devait avoir un pouvoir actinique plus puissant que la lumière blanche de l'étincelle. Le résultat répondit entièrement à mon attente..

« Du moment où il m'était prouvé que l'impression du bromure d'argent était due à l'action lumineuse de l'effluve électrique, et que cette action atteignait son degré maximum lorsqu'elle était *réfléchie* par un miroir, il me sembla possible de reproduire un objet plan quelconque, métallique ou non.

« Je plaçai alors sur la plaque sensible une carte photographique ordinaire, recouverte sur son envers d'une feuille d'étain; puis je fis passer l'effluve sur toute sa périphérie. J'obtins ainsi une reproduction de cette photographie.

« Les différents clichés que je viens de soumettre à votre examen prouvent suffisamment que *l'illumination produite par l'effluve électrique, et réfléchie par un miroir, permet de reproduire, avec tous ses détails de gravure et de dessin, un objet plan quelconque posé sur une plaque au gélatinobromure d'argent.*

« Lorsque je parlai de mes premières recherches à M. Lippmann, notre savant collègue m'engagea à opérer en plaçant la plaque au gélatinobromure à l'intérieur d'un condensateur, ou, plutôt, à faire de cette plaque le diélectrique d'un condensateur, dont l'une des armatures serait représentée par l'objet à reproduire photographiquement. D'après lui, cette méthode devait donner des résultats beaucoup plus nets que

ceux obtenus jusqu'alors. Je suivis ce conseil, et vous pouvez constater, d'après les épreuves que je mets sous vos yeux, que le pronostic de M. Lippmann était parfaitement exact.

« Voici comment je disposai l'expérience :

« Sur une épaisse lame d'ébonite, je collai une feuille de papier d'étain que je mis en rapport avec l'un des pôles d'une petite machine de Voss. Sur l'étain je mis la plaque au gélatino, le côté sensibilisé en haut; puis enfin, sur ce côté sensibilisé, je posai le cachet métallique qui m'a déjà servi dans plusieurs expériences. Ce cachet était relié par un fil de cuivre au second pôle de la machine électrique. Cet ensemble constitue un véritable *condensateur* dont le diélectrique se trouve être la plaque photographique.

« Les choses étant ainsi disposées, quelques tours de plateau de la machine suffisent à charger ce condensateur; or, pendant que la charge s'effectue (naturellement on opère dans l'obscurité absolue), on voit une large effluve s'étaler en nappe tout autour de la circonférence du cachet métallique; l'apparition de cette effluve s'accompagne d'une forte odeur d'ozone.

« La plaque est ensuite retirée et soumise à l'action des bains ordinaires de révélation et de fixation. Le cliché ainsi obtenu laisse beaucoup à désirer comme netteté; les traits principaux de la gravure sont indiqués, mais les détails sont perdus dans un *fou* comparable à celui que produit une pose prolongée avec un mauvais éclairage.

« Après ce premier essai, renouvelé plusieurs fois avec des résultats identiques, j'ai chargé le condensateur photographique à saturation, puis j'ai rapproché les excitateurs polaires de la machine de Voss, de façon à faire éclater entre eux l'étincelle de décharge.

« J'obtins alors un cliché magnifique, reproduisant avec une netteté parfaite tous les détails de la gravure. L'épreuve positive que je mets sous vos yeux diffère de la précédente par plusieurs points sur lesquels je crois devoir appeler votre attention; la circonférence du cachet est entourée d'une auréole formée de rayons très distincts, tandis que l'*effluve de charge* ne nous avait donné qu'une sorte de placage uniforme.

« En outre, si l'on examine ce cliché à la loupe, on voit

que tous les traits qui composent le dessin sont constitués par un trait médian portant de courtes expansions latérales, qui lui donnent un aspect *penniforme*. Rien de semblable ne s'observe dans les clichés obtenus pendant la charge du condensateur.

« Voulant pousser plus loin l'expérience, je plaçai entre le cachet et la surface sensibilisée de la plaque un dessin à l'encre sur papier ordinaire ; puis le condensateur photographique fut chargé, et sa décharge opérée entre les excitateurs polaires de la machine comme précédemment. Les traits principaux du dessin à l'encre se trouvèrent assez bien reproduits, mais beaucoup moins nettement cependant que l'avaient été ceux de l'image métallique. Vous pouvez constater sur l'épreuve positive la disposition penniforme des traits, encore bien plus marquée ici que dans la première reproduction.

« Mais, dans cette expérience, le papier avait été traversé sur plusieurs points par la décharge qui s'opère, à l'intérieur du condensateur, entre le cachet-armature et la surface sensible de la plaque au gélatino.

« Naturellement, sur tous ces points, le dessin n'est pas reproduit, et il y a seulement une tache blanche plus ou moins grande.

« Pour éviter cet inconvénient, je remplaçai le papier dessiné par un objet beaucoup plus épais, tel qu'une miniature sur ivoire, puis j'intercalai, entre cette miniature et le cachet-armature, une série de feuilles de papier et de carton, et enfin une épaisse plaque de verre.

« Malgré l'épaisseur, le nombre et la conductibilité très différente des divers diélectriques, la reproduction des traits de la miniature se fit très nettement au moment de la décharge.

« L'explication de ces résultats n'est pas facile à donner ; cependant, sans rien oser affirmer encore, je crois qu'il s'agit là d'un phénomène analogue à celui que M. le comte du Moncel avait découvert et décrit sous le nom de *pluie de feu*, et qui a permis à Moser de graver des dessins sur verre au moyen de l'effluve électrique. »

BIBLIOGRAPHIE.

Traité d'électricité et de magnétisme, par C. MAXWELL. — Traduction française de M. Séligmann-Lui. (Gauthier-Villars, éditeur.)

Le traité d'électricité et de magnétisme de Clerk Maxwell, dont la première édition a paru en Angleterre en 1873, a eu un grand retentissement et a puissamment contribué au développement de la théorie de l'électricité; il a été, en quelque sorte, le point de départ du grand mouvement scientifique qui s'est produit dans cette étude, en France ainsi qu'en Angleterre, en Allemagne, aux États-Unis.

Maxwell préparait une seconde édition, dans laquelle il se proposait d'introduire des changements importants, tant dans le fond que dans l'exposé du sujet; mais la mort l'a empêché d'achever son œuvre. M. le Dr Niven, professeur au Trinity Collège, à Cambridge, a terminé le travail, mais en se bornant à introduire quelques modifications dans le raisonnement mathématique lorsque cela lui paraissait avantageux pour le lecteur. Cette seconde édition a paru en 1881.

Tous ceux qui s'occupent d'électricité, en France, désiraient vivement voir paraître une traduction de cet important traité. Cette lacune vient d'être comblée par M. Séligmann-Lui, ingénieur des télégraphes, qui vient de publier chez M. Gauthier-Villars la traduction du premier volume. Cette traduction, dans laquelle le texte a été scrupuleusement respecté, est accompagnée de notes et d'éclaircissements dus à MM. Cornu, Potier et Sarrau; elle a été complétée par l'exposé de quelques théories, dont il est fait usage dans l'ouvrage et qui ne sont pas encore entrées dans l'enseignement (théorie des quaternions, des sphériques, harmoniques, etc.).

Le chapitre premier est consacré à la description des phénomènes élémentaires. L'auteur s'est proposé d'y résumer

dans un ordre méthodique les faits nécessaires et suffisants pour l'édification d'une théorie rationnelle de l'électricité. Mais, ainsi que le fait remarquer M. Cornu, les définitions expérimentales sont souvent confuses ou amenées d'une manière artificielle; les expériences fondamentales, qui ne sont pour la plupart que des généralisations théoriques de celles de Faraday, sont compliquées et à peine réalisables. Toutefois, ces objections ont peu d'importance, parce que l'ouvrage ne peut être destiné qu'à des lecteurs qui sont parfaitement au courant de tous les phénomènes élémentaires de l'électricité.

Le point de départ de la théorie de Maxwell repose sur la notion du déplacement électrique. Abandonnant l'idée des actions à distance, il se rallie à la théorie de Faraday et admet que les actions électriques s'exercent de proche en proche par l'intermédiaire d'un fluide incompressible, et par le fait de ce qu'il nomme le *déplacement*. Pour un corps électrisé positivement, le déplacement a lieu de l'intérieur à l'extérieur; pour un corps électrisé négativement, il a lieu en sens contraire; il est toujours proportionnel à la charge. Un corps électrisé agit donc sur tous les corps environnants en produisant sur eux un déplacement de sens opposé. La transmission de ce déplacement s'effectue, d'ailleurs, par une série de vibrations de l'éther normales au rayon, comme pour la propagation de la lumière. Ainsi donc, le phénomène appelé déplacement électrique est un mouvement d'électricité, comme le transport d'une quantité déterminée d'électricité à travers un fil; la seule différence est que dans les corps isolants, ou les diélectriques, il y a une force, que Maxwell appelle élasticité électrique, qui s'oppose au transport électrique, et qui ramène le fluide en arrière aussitôt que la force électromotrice est supprimée, tandis que dans un fil conducteur l'élasticité électrique est constamment sur montée et il s'établit un courant de conduction proprement dit.

Maxwell considère donc le milieu diélectrique qui environne un corps électrisé comme soumis en chaque point à une tension électrique dirigée suivant les lignes de force, ce qui le conduit naturellement à admettre une pression nor-

male aux mêmes lignes, ainsi que cela a lieu dans les milieux élastiques.

Après avoir établi les bases de sa théorie, Maxwell aborde l'étude de l'électricité statique et commence par donner les définitions de l'électricité considérée comme quantité mathématique, de la densité électrique rapportée à un volume, à une surface et à une ligne, de l'intensité résultante en un point, du potentiel électrique, des lignes et des flux de force, etc. Dans cette première étude des phénomènes il n'introduit pas la notion du déplacement, et se borne à prendre pour point de départ la loi de Coulomb.

Dans les chapitres suivants il traite du travail électrique, et établit les théorèmes généraux qui se rapportent à l'électricité statique (théorèmes de Green, de Thomson, etc.) ; il donne la forme des surfaces équipotentielles et des lignes de flux dans un certain nombre de cas particuliers susceptibles d'applications, ainsi que des exemples de distribution. Enfin, il rappelle la théorie des sphériques harmoniques, qui permet de résoudre analytiquement certains cas particuliers de distribution électrique.

Un chapitre spécial est consacré à la théorie des images électriques, imaginée par Sir W. Thomson. Le point de départ de cette théorie consiste en ce que, si l'on considère une masse électrique et un plan conducteur indéfini au potentiel zéro, mais chargé par l'influence de la masse électrique, leur effet combiné, en un point quelconque situé par rapport au plan du même côté que la masse électrique, est le même que si le plan était enlevé et était remplacé par une quantité égale d'électricité de nom contraire, symétrique de la première par rapport au plan. Le phénomène est analogue à celui de la réflexion de la lumière sur un miroir. On voit que par cette méthode on peut avoir immédiatement et sans calcul l'action d'une masse électrique située dans le voisinage d'un plan conducteur indéfini sur un point quelconque. Cette théorie est appliquée à plusieurs cas particuliers.

Après une description sommaire des instruments électrostatiques, Maxwell aborde l'électrocinématique et étudie le courant électrique dans ses relations avec la chaleur et les actions chimiques. Il passe en revue les lois générales de la distri-

bution des courants dans les conducteurs linéaires, puis dans les conducteurs à deux et trois dimensions. Il étudie la conduction dans les milieux hétérogènes et dans les diélectriques et termine le premier volume par les méthodes de mesure de la résistance électrique.

Nous aurons l'occasion de revenir sur ce premier volume lorsque M. Séligmann-Lui aura fait paraître sa traduction du second. Mais nous ne voulons pas tarder à le remercier, au nom de tous ceux qui s'intéressent à la science électrique, d'avoir entrepris cette grande tâche, et nos remerciements s'adressent également à M. Gauthier-Villars, qui a contribué à rendre cette traduction digne de Maxwell.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1886

Septembre-Octobre

THÉORIE

DES

MACHINES MAGNÉTO ET DYNAMO-ÉLECTRIQUES (*)

IX.

DIVERS MODES D'ENROULEMENT DES DYNAMOS.

Nous avons considéré jusqu'ici des machines dans lesquelles l'armature induite et l'inducteur sont placés en série dans le circuit (*fig. 19*). Mais on emploie couram-

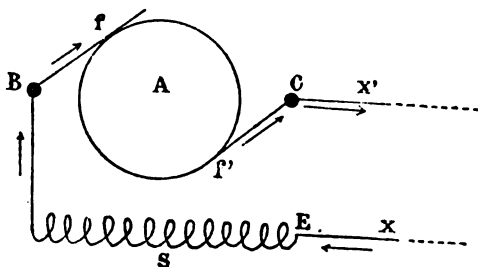


Fig. 19.

(*) Voir *Annales télégraphiques*, mai-juin et septembre-octobre 1885, janvier-février et mai-juin 1886.

ment dans l'industrie des types de dynamos dans lesquels l'inducteur est en dérivation entre les bornes

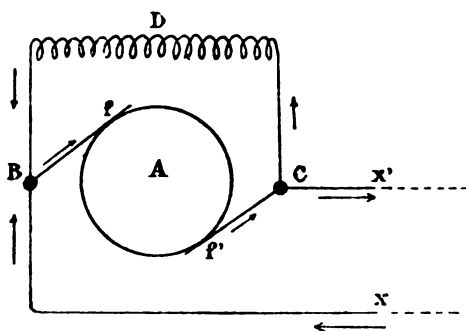


Fig. 20.

de l'armature, ces bornes étant reliées directement au circuit extérieur (fig. 20); ou encore d'autres types dits à *enroulement composé* (fig. 21 et 22).

Sur les figures ci-contre, B et C représentent les bornes de l'armature, A le cylindre collecteur, Bf et Cf' les balais frotteurs; S, S', des spires enroulées sur

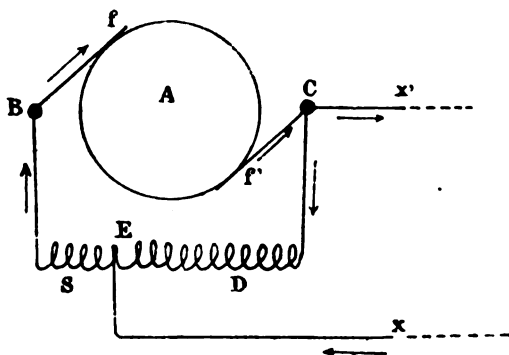


Fig. 21.

l'électro-aimant inducteur et placées en série entre l'armature et la ligne XX' ; D, des spires enroulées sur

l'inducteur et placées en dérivation entre les bornes B et C. Les spires S et D (fig. 21), S' et D (fig. 22), sont

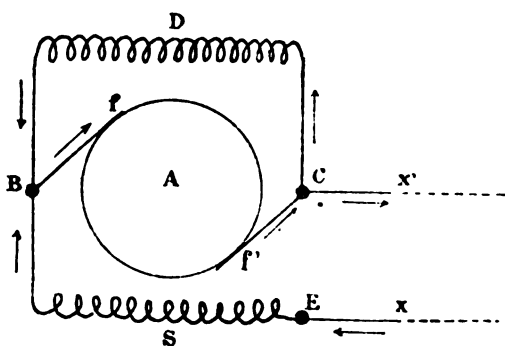


Fig. 22.

enroulées simultanément sur le même électro et constituent l'enroulement composé (en anglais : *compound dynamo*).

La disposition des inducteurs en dérivation est très utile dans nombre de cas, par exemple pour la charge d'accumulateurs par des dynamos, afin d'éviter un renversement accidentel du courant. Avec une dynamo en série, comme on l'a vu plus haut, il peut arriver que la force $e\ m$ de la machine devienne, à un moment donné, inférieure à la force contre $e\ m$. des accumulateurs, et par conséquent, qu'il naisse un courant inverse, lequel se maintient puisqu'il induit une force $e\ m$. inverse ajoutant son effet à celui des accumulateurs. Avec la dynamo en dérivation, au contraire, si la force contre $e\ m$. de ceux-ci vient à l'emporter momentanément et à donner un courant inverse dans le circuit extérieur XX' , le courant dérivé dans les spires D (fig. 20) ne changera pas de sens pour cela ; la force $e\ m$. induite restera de même sens, et, lorsqu'elle reprendra le

dessus, les accumulateurs recommenceront à se charger après une décharge accidentelle de courte durée.

L'emploi de l'enroulement composé permet de résoudre commodément certains problèmes qui se posent couramment en pratique, notamment l'*autorégulation* du courant. Ainsi, une dynamo doit-elle alimenter un certain nombre de lampes placées en dérivation entre ses bornes ou fournir le courant nécessaire à plusieurs moteurs? Il faut, autant que possible, que chaque lampe puisse être allumée ou éteinte, que chaque moteur puisse être arrêté ou mis en marche sans que les autres en reçoivent un contre-coup. Pour cela, il est nécessaire que le courant, dans chaque dérivation, soit indépendant des variations qui se produisent dans les autres, et par suite que la *différence de potentiel aux bornes reste constante*. Si l'enroulement de la dynamo a été calculé convenablement pour une certaine vitesse de rotation, l'autorégulation cherchée se produira, non pas d'une manière absolument complète, mais dans de larges limites. On a alors une *distribution à potentiel constant*.

Si les lampes ou moteurs sont tous en série et peuvent être à volonté mis en court circuit ou introduits dans le circuit général, il faut que le *courant* reste constant, malgré ces variations, pour que les lampes ou moteurs en service fonctionnent d'une manière régulière. Si ce résultat est atteint, on a une *distribution à courant constant*. Nous verrons plus loin comment on peut l'obtenir.

Comme la théorie de la distribution, soit à potentiel constant, soit à intensité constante, est basée sur les propriétés des caractéristiques, nous allons étudier ces

les conditions d'autorégulation du potentiel, mais non de l'intensité.

Dynamo en dérivation (fig. 20). — Désignons : — pour l'armature, la résistance intérieure par r , l'intensité par i ; — pour les spires D en dérivation, la résistance par r' , l'intensité par i' ; — pour le circuit extérieur, la résistance par ρ , l'intensité par $(i - i')$. Soit E la force *e. m.* induite, due au courant i' ; ϵ la différence de potentiel aux bornes B et C. On a :

$$(1) \quad \epsilon = E - ri = r'i' = \rho(i - i'),$$

d'où l'on tire, par élimination de i , les valeurs de $(i - i')$ et de ϵ en fonction de i' et de la force *e. m.* E , qui est elle-même fonction de i' :

$$(2) \quad i - i' = \frac{1}{r} [E - (r + r')i'],$$

$$(3) \quad \epsilon = r'i'.$$

La force *e. m.* E dépend, à la rigueur, non seulement du courant inducteur i' , mais encore du courant i qui circule dans l'armature et qui réagit sur le champ magnétique. Toutefois, comme les calculs seraient très compliqués si l'on voulait tenir compte de cette influence, qui est d'ailleurs assez faible lorsque les inducteurs sont puissants, nous supposons que E est simplement fonction de i' , ainsi qu'on le fait généralement. Il ne faudra pas oublier que les résultats que nous obtiendrons ainsi ne sont qu'approchés.

Construisons donc la courbe $OE V$ (fig. 23) en prenant E comme ordonnée, i' comme abscisse. Pour une valeur OP de i' , cette courbe fera connaître la valeur MP de E , et les équations (2) et (3) feront connaître celles de $(i - i')$ et de ϵ . Si l'on porte alors $Nm = i - i'$ en abscisse sur l'axe des $(i - i')$, prolongement de

l'axe des i' , et $mp = \epsilon$ en ordonnée, on obtient la courbe $On\epsilon$ que l'on appelle *caractéristique externe* de la dynamo. Pour un point m quelconque $\widehat{mOp} = \frac{\epsilon}{i - i'}$ représente la résistance ρ du circuit extérieur.

La construction de la courbe $On\epsilon$ par points est très simple. Menons la droite OQE telle que $\widehat{EOi'} = r + r'$. D'un point M de la courbe $OE\epsilon$, abaissons MQP perpendiculaire sur Oi' . Comme $OP = i'$, on a : $PQ = (r + r')i'$, et :

$$MQ = E - (r + r')i'.$$

Menons par M et Q les parallèles Mm , QN faisant avec Oi' un angle dont la tangente soit égale à r , et par N la droite Nm parallèle à Oi' . Le point m appartient à la caractéristique $On\epsilon$, car on a : $Nm = i - i'$ et : $ON = \epsilon$, comme il est facile de le vérifier.

La caractéristique externe a la forme indiquée par la *fig. 23*. Cette forme, qui résulte de la construction ci-dessus, a été trouvée expérimentalement par des mesures directes de ϵ et de $(i - i')$ faites sur des machines de divers types (Siemens, etc.). On voit qu'il ne peut y avoir courant, ou que la machine ne peut s'amorcer, si la résistance externe $\rho = \widehat{mOp}$ est *inférieure* au coefficient angulaire ρ_0 de la tangente à la courbe en O . Lorsque ρ croît depuis ρ_0 jusqu'à l'infini, le point m décrit la courbe $Omn\epsilon$; ϵ croît constamment de zéro jusqu'à la valeur de l'ordonnée $O\epsilon$, tandis que l'intensité $(i - i')$ croît d'abord de zéro à un maximum Oq , puis décroît jusqu'à zéro. Comme la variation de $(i - i')$ aux environs du maximum est très faible,

on peut considérer l'intensité $(i - i')$ dans le circuit extérieur comme sensiblement constante entre certaines limites de variation de ρ (de $\widehat{\text{tang } mOp}$ à $\widehat{\text{tang } m'O'p}$, par exemple), et l'autorégulation du courant est alors réalisée.

La formule (2) montre que ρ et, par suite, i' variant, $(i - i')$ reste proportionnel à $[E - (r + r')i']$, c'est-à-dire à MQ . Donc le point n , pour lequel $(i - i')$ est maximum, correspond au point de la courbe $OE V$ où la tangente est parallèle à la droite OE . De même, le point e , où $i - i' = 0$, correspond au point E , où $MQ = 0$.

Dynamo en série et longue dérivation (*) (enroulement composé de la fig. 21). — Les formules (1) subsistent encore, r désignant la résistance totale de l'armature A et des spires S . Mais E n'est plus fonction seulement de i' , l'inducteur comprenant à la fois les spires S , au nombre de n par exemple, traversées par le courant i , et les spires D , au nombre de n' , traversées par le courant i' . Les flux de force à travers la section du noyau de l'électro supposé non magnétique, sous l'action des spires S et des spires D , seraient respectivement proportionnels à ni et à $n'i'$; le flux total serait proportionnel à $(ni + n'i')$ sensiblement. Le noyau étant en fer doux, les actions magnétiques sont beaucoup plus compliquées, et la force $e. m.$ E n'est pas proportionnelle à $(ni + n'i')$; mais elle est une fonction de cette somme, soit $\varphi(ni + n'i')$.

Les spires S et D sont enroulées sur toute la longueur des électros inducteurs, les unes enveloppant les

(*) Cette dénomination a été proposée par M. S. P. Thompson et adoptée en général.

autres, et non les unes à un bout, les autres à l'autre bout, comme paraît l'indiquer la figure schématique 21. Les spires extérieures ont, comme on le sait, sensiblement la même action magnétisante que les spires plus rapprochées de l'axe des électros. C'est pourquoi nous écrivons $\varphi (ni + n'i')$, sans affecter ni et $n'i'$ de coefficients différents destinés à montrer que les spires S et D sont inégalement distantes de l'axe des noyaux. Même observation pour les spires S' et D (*fig.* 22).

Nous sommes donc amenés ici à mettre en évidence dans les formules les nombres de spires de chaque catégorie enroulées sur les électros. Désormais, nous porterons en abscisses, non plus les intensités i ou i' , mais les produits ni , $n'i'$ ou $(ni + n'i')$. M. S.-P. Thompson a proposé d'appeler ni , $n'i'$, les *nombres d'ampères-tours* des spires S, D.

Des équations (1) on tire les valeurs de $(i - i')$ et de ϵ en fonction de $(ni + n'i')$. En posant : $ni + n'i' = I$, on a :

$$(4) \quad i - i' = \frac{n + n'}{n'r - nr'} \left(E - \frac{r + r'}{n + n'} I \right),$$

$$(5) \quad \epsilon = \frac{nr'}{n'r - nr'} \left(\frac{r}{n} I - E \right).$$

Construisons la courbe OEV (*fig.* 24) en portant en ordonnée la force *e. m.* induite E et en abscisse le nombre d'ampères-tours inducteurs I; et traçons les droites OQE, OE₁N, de telle sorte que :

$$\widehat{\text{EOI}} = \frac{r + r'}{n + n'},$$

et

$$\widehat{\text{NOI}} = \frac{r}{n}.$$

compris entre $\frac{r+r'}{n+n'} I = PQ$ et $\frac{r}{n} I = PN$. C'est le cas de la figure 24.

Si le point M décrit la courbe OV depuis E jusqu'en E_1 , la résistance ρ , qui est proportionnelle au rapport $\frac{MN}{MQ}$, est infinie d'abord en E, décroît constamment, et devient nulle en E_1 . En même temps, la différence de potentiel aux bornes ϵ décroît constamment jusqu'à zéro, puisque MN décroît lui-même depuis la valeur ER jusqu'à zéro.

Au contraire $(i - i')$, qui est proportionnel à MQ, croît d'abord de zéro à un maximum correspondant au point M où la tangente à la courbe est parallèle à OE, puis décroît jusqu'en E_1 . On construirait facilement la caractéristique externe, qui a la forme K, L, ϵ_1 . D'après ce qui précède, on doit trouver, comme dans le cas des dynamos en dérivation, un maximum d'abscisse $(i - i')$ en un point L, mais aucun maximum d'ordonnée ϵ . Il en résulte qu'une dynamo en série et longue dérivation présente les conditions de distribution à intensité constante, si l'on a :

$$(6) \quad \frac{r}{n} > \frac{r'}{n'},$$

et si, en outre, le point M, où la tangente à la courbe OV est parallèle à OE, est compris entre les droites OE et ON. Le courant restera constant lorsque la résistance ρ variera aux environs de la valeur correspondant à ce point M.

Des raisonnements analogues s'appliqueraient au cas où $\frac{r}{n}$ est inférieur à $\frac{r'}{n'}$ et, par suite, à $\frac{r+r'}{n+n'}$. La fi-

gure 24 peut encore servir à condition que l'on ait :

$$\begin{aligned}\widehat{\text{tang EOI}} &= \frac{r}{n}, \\ \widehat{\text{tang NOI}} &= \frac{r + r'}{n + n'}.\end{aligned}$$

Alors c'est ϵ qui est proportionnel à MQ et qui, par conséquent, est susceptible d'un maximum, tandis que $(i - i')$ est proportionnel à MN et décroît constamment jusqu'à zéro, la résistance extérieure $\left(\rho = \frac{n r'}{n + n'} \cdot \frac{MQ}{MN}\right)$ croissant depuis zéro (en E) jusqu'à l'infini (en E_1). La caractéristique externe est de la forme K, L, ϵ_1 . Une telle machine jouit donc des propriétés d'une dynamo en série et présente les conditions de distribution à potentiel constant, si l'on a :

$$(7) \quad \frac{r}{n} < \frac{r'}{n'},$$

et si, en outre le point M où la tangente à la courbe OV est parallèle à OE tombe entre les droites OE et ON. La différence de potentiel aux bornes ϵ restera constante tant que ρ variera aux environs de la valeur correspondant à ce point M.

Les machines à double enroulement peuvent donc jouir des propriétés des dynamos en série ou en dérivation à volonté, suivant l'importance de l'un et de l'autre enroulements S et D. En outre, en raison du nombre des éléments dont on dispose, V, n, n', e, r' , on peut construire une telle machine de manière à satisfaire à des conditions multiples. Étant données, par exemple, les carcasses de l'inducteur et de l'induit, on pourra y enrouler des nombres de spires tels, et donner aux résistances r et r' et à la vitesse V des valeurs

telles, que non seulement on ait une distribution à potentiel ou à courant sensiblement constants, mais encore que le potentiel ϵ ou l'intensité $(i - i')$ aient une valeur fixée *a priori*, qui ne varie que d'une fraction déterminée entre les deux limites extrêmes ρ_1 et ρ_2 de la résistance extérieure.

En principe, ce que nous venons de dire pour les génératrices s'applique aux réceptrices, sauf de légères modifications. Ainsi le courant i dans l'armature est de sens contraire pour une réceptrice, et $(ni + n'i')$ doit être remplacé par $(-ni + n'i')$. L'enroulement double est dit alors *différentiel*.

Les propriétés de l'enroulement composé étant fondées sur celles de la courbe OV, il n'est pas inutile d'insister sur la construction de celle-ci. On fait tourner, à cet effet, l'armature à la vitesse V , et l'on donne à la résistance extérieure ρ diverses valeurs variant de zéro à l'infini. Les formules (1) donnant :

$$I = \frac{n + n'}{r'} \left(\rho + \frac{nr'}{n + n'} \right) (i - i'),$$

$$E = \frac{r + r'}{r'} \left(\rho + \frac{rr'}{r + r'} \right) (i - i'),$$

chaque mesure du courant extérieur $(i - i')$ correspondant à une résistance ρ fait connaître un couple de valeurs de l'abscisse I et de l'ordonnée E . On aura ainsi, par points, l'arc de courbe E_1E compris entre les droites OE et ON .

Pour compléter la courbe du côté de l'origine O , on donnera à la vitesse une nouvelle valeur V' assez faible pour que l'arc initial s'abaisse jusqu'à être compris entre les droites OE , ON . On construira cet arc par points en ayant soin de multiplier ses ordonnées par $\frac{V}{V'}$

pour les ramener à ce qu'elles seraient à la vitesse V . De même, pour construire le prolongement de la courbe au delà de l'arc E_1E , on choisira une vitesse V'' assez grande, et l'on aura soin de multiplier les ordonnées par $\frac{V}{V''}$ pour les réduire à ce qu'elles seraient à la vitesse V .

La courbe OV , ainsi achevée, sera représentée par une équation de la forme :

$$(8) \quad E = VN\varphi(I),$$

N désignant le nombre des spires enroulées sur l'armature; φ une fonction qui ne dépend que de la forme et des dimensions de la carcasse et qui ne variera pas lorsqu'on changera les enroulements, pourvu que ceux-ci conservent le même volume. La courbe ayant pour ordonnée $\varphi(I)$ pourrait donc s'appeler la *caractéristique de la carcasse*. — Pour plus de rigueur, on devrait tenir compte du courant i qui circule dans l'armature et qui réagit sur le champ magnétique inducteur, et écrire

$$E = VN\varphi(I, Ni).$$

Mais nous nous en tiendrons à la formule (8), ainsi qu'on le fait généralement.

Dynamo en série et courte dérivation (cas de la fig. 22). — Les n spires S' étant traversées par le courant $(i - i')$, le nombre $(ni + n'i')$ d'ampères-tours doit être remplacé par $n(i - i') + n'i'$, soit $ni + (n' - n)i'$. En outre, on a pour la différence de potentiel entre les bornes E et C :

$$e = E - ri - p(i - i'),$$

p étant la résistance des spires S' . En posant donc :

$$ni + (n' - n)i' = I,$$

on pourra calculer, comme plus haut, e et $(i - i')$ en fonction du nombre d'ampères-tours I . On trouvera ainsi comme condition d'autorégulation du courant :

$$(6') \quad \frac{r}{n} > \frac{r + r'}{n'},$$

et, au contraire, pour l'autorégulation du potentiel :

$$(7') \quad \frac{r}{n} < \frac{r + r'}{n'}.$$

Rendement d'une dynamo. — Quel que soit le mode d'enroulement adopté, si l'on se place au point de vue économique, pour que le rendement soit le plus grand possible, il faut que la résistance r de la branche de l'armature soit très faible par rapport à la résistance externe ρ et, par contre, que la résistance r' de la dérivation D soit très grande par rapport à ρ . On s'arrangera, par exemple, de manière que ρ (ou sa valeur moyenne, lorsqu'il varie) soit moyenne géométrique entre r et r' . Si $\frac{r}{\rho} = \frac{\rho}{r'} = \frac{1}{20}$, le rendement sera 90 p. 100.

L'expression du rendement d'une dynamo s'obtient en considérant comme travail utile l'énergie disponible entre ses bornes. Dans le cas des types représentés *fig.* 20 et 21, par exemple, ce rendement est égal à :

$$\frac{\rho r^2}{(\rho + r')[\rho(r + r') + rr']}.$$

Si l'on fait varier ρ , le maximum de ce rendement aura lieu pour :

$$\rho = \sqrt{rr'} \sqrt{\frac{r'}{r + r'}}.$$

ou simplement pour : $\rho = \sqrt{rr'}$, $\sqrt{\frac{r'}{r+r'}}$ étant sensiblement égal à 1, puisque r' est très grand par rapport à r . Cette règle économique est due à sir W. Thomson.

Quoique nous ayons supposé jusqu'ici, pour simplifier, que le circuit extérieur ne comprend qu'une résistance ρ , on remarquera que les formules (2), (3), (4), (5), (6), (7), (6') et (7') sont indépendantes de cette hypothèse. Par conséquent, les conditions de l'autorégulation subsistent lorsque le circuit extérieur renferme des forces électromotrices.

X.

DISTRIBUTIONS A POTENTIEL OU A COURANT CONSTANT.

Nous venons de voir le principe de ces distributions. Il nous reste à en développer les applications. — M. Depez est le premier qui ait indiqué et réalisé un procédé pour maintenir aux bornes d'une dynamo une différence de potentiel constante. Il a pu ainsi faire fonctionner d'une manière tout à fait indépendante plusieurs moteurs en dérivation formant le circuit extérieur, soit à l'Exposition d'électricité en 1881, soit à Grenoble en 1883. Voici la solution qu'il avait adoptée et à laquelle on préfère maintenant l'emploi des dynamos à enroulement composé dont nous avons parlé plus haut (*).

Solution de M. M. Depez. — Sur le noyau de l'inducteur sont enroulés deux fils : le premier, S, placé en

(*) Le principe de l'enroulement composé a été revendiqué par divers auteurs; mais c'est M. Brush qui aurait le premier fait usage d'un enroulement en série et dérivation, sans en connaître d'ailleurs tous les avantages, si l'on s'en rapporte aux termes de son brevet. Voir, à ce sujet, un article de M. Hospitalier, *Électricien*, n° 20.

série à la suite de l'armature dans le circuit général ; le deuxième, S' , formant un circuit distinct avec une pile ou une machine excitatrice spéciale qui y envoie un courant constant. Si le courant excitateur est assez faible pour que le noyau reste loin d'être saturé, les spires S induisent une force $e. m.$ qui peut être considérée comme proportionnelle au courant i qui les traverse, soit Vki . Les spires S' induisent une force $e. m.$ Ve' , qui s'ajoute simplement à la première, de telle sorte que la force $e. m.$ totale est :

$$E = V(ki + e'),$$

et la différence de potentiel aux bornes :

$$\epsilon = E - ri = (Vk - r)i + Ve'.$$

Si la machine tourne à la vitesse $V = \frac{r}{k}$, ϵ se réduit à la valeur $Ve' = \frac{re'}{k}$ indépendante des variations du circuit extérieur. Il faut toutefois, d'après notre hypothèse, que le courant induit i reste assez faible pour que le noyau soit loin du point de saturation, et l'on n'utilise pas ainsi la puissance maximum de la machine.

On a proposé diverses variantes de cette solution. Ainsi on obtiendrait un résultat analogue en introduisant la pile auxiliaire dans le circuit général, ce qui permet de supprimer l'enroulement S' . Cette pile même n'est pas nécessaire, et la dynamo en série est autorégulatrice, comme nous l'avons vu, pourvu que l'on utilise un arc de la caractéristique sensiblement parallèle à la droite ayant pour coefficient angulaire la résistance intérieure de la machine. Il est vrai que l'arc utilisable n'a pas toujours une longueur suffisante, à

cause de la grandeur de sa courbure, et que les limites de variation du circuit extérieur entre lesquelles l'autorégulation est satisfaisante, ne sont par conséquent pas très étendues. La solution de M. Deprez est plus parfaite à ce point de vue, puisqu'elle utilise la première partie de la caractéristique, pour laquelle la force *e. m.* induite est proportionnelle à la force magnétisante, et qui est sensiblement rectiligne sur une grande longueur. L'emploi de l'enroulement composé donne un résultat meilleur que la dynamo en série et est d'une complication moindre que le système de M. Deprez.

On imagine facilement comment il faudrait transformer la solution précédente dans le cas où l'on voudrait un courant constant. On emploierait un enroulement D en dérivation, plus l'enroulement S' à excitation indépendante. La vitesse à donner à la dynamo serait alors :

$$v = \frac{r + r'}{k}.$$

Solution au moyen de l'enroulement en série et longue dérivation. — Nous allons indiquer comment on peut résoudre, au moyen de l'enroulement composé, le problème de la distribution à *potentiel constant*.

Tout d'abord on ne peut songer à aborder le problème dans toute sa généralité, en raison de l'impuissance dans laquelle on se trouve actuellement de calculer la loi des variations du champ magnétique lorsqu'on emploie des noyaux et des pièces polaires de formes différentes. Nous nous contenterons donc de prendre une carcasse de forme déterminée et de calculer le diamètre à donner au fil, le nombre des spires à enrouler sur l'armature et les électros, enfin la vi-

tesse à imprimer à la machine pour obtenir le résultat cherché.

Considérons donc une carcasse de machine sur laquelle on a fait un enroulement provisoire arbitraire en série et longue dérivation (*fig. 21*). Nous désignerons par $N_0, n_0, n'_0, r_0, r'_0$ les valeurs respectives des éléments N, n, n', r, r' de cet enroulement, et nous supposerons seulement qu'ils satisfont à la condition (7) :

$$\frac{r}{n} < \frac{r'}{n'},$$

qui est nécessaire pour obtenir la constance du potentiel. On devra déterminer tout d'abord la courbe OV (*fig. 24*) relative à cette machine pour une vitesse quelconque V_0 , comme nous l'avons expliqué plus haut. L'ordonnée de cette courbe étant représentée par : $V_0 N_0 \varphi(I_0)$, si α_0 est l'angle de l'axe OI avec la tangente au point dont l'abscisse est I_0 , on aura :

$$(9) \quad V_0 N_0 \varphi'(I_0) = \tan \alpha_0.$$

Ceci posé, il s'agit de calculer un enroulement définitif (N, n, n', r, r') et une vitesse V satisfaisant aux conditions suivantes :

1° Le nombre d'ampères-tours en régime normal ayant une valeur I_0 , que l'on a choisie arbitrairement, la différence ε de potentiel utilisable entre les bornes doit avoir une valeur déterminée ε_0 , et le courant $(i - i')$ dans le circuit extérieur doit avoir une intensité $(i - i')_0$; ou bien, au lieu de se donner $(i - i')$, on fixe la valeur ρ_0 que doit avoir le rapport $\rho = \frac{\varepsilon}{i - i'}$. En outre, le potentiel ε ne doit varier, au plus, que d'une fraction θ (5 p. 100, par exemple) lorsque le courant extérieur varie

dans des limites déterminées, qui peuvent être très larges;

2° Les spires S et D enroulées sur les électros ont un volume déterminé; il en est de même pour les spires enroulées sur l'armature;

3° Enfin on veut que le rendement en régime normal ait une valeur minimum fixée *a priori*.

Ces diverses conditions seront traduites par les équations suivantes, qui feront connaître les valeurs à attribuer à N, n , n' ,...

D'abord, ϵ étant égal, d'après la formule (5), à :

$$\epsilon = \frac{nr'}{nr' - n'r} \left[VN\varphi(I) - \frac{r}{n} I \right],$$

pour que sa valeur se maintienne constante quand I varie aux environs de I_0 , c'est-à-dire pour que l'auto-régulation ait lieu, il faut que la dérivée $\frac{d\epsilon}{dI}$ soit nulle, ce qui donne :

$$VN\varphi'(I_0) - \frac{r}{n} = 0$$

ou, en tenant compte de (9) :

$$(10) \quad \frac{VNn}{r} = V_0 N_0 \cotang \alpha_0 = a.$$

En second lieu, des équations :

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= VN\varphi(I_0) - ri = r'i' = \rho_0(i - i') \\ I_0 &= ni + n'i', \end{aligned}$$

on déduit :

$$\frac{1 + \frac{r'}{\rho_0} + \frac{r'}{r}}{1 + \frac{r'}{\rho_0} + \frac{n'}{n}} = \frac{VNn}{r} \frac{\varphi(I_0)}{I_0},$$

ou, en tenant compte de (10) :

$$(11) \quad \frac{1 + \frac{r'}{\rho_0} + \frac{r}{r'}}{1 + \frac{r'}{\rho_0} + \frac{n'}{n}} = \frac{V_0 N_0 \varphi(I_0)}{I_0} \cotg \alpha_0 = \frac{E_0}{I_0} \cotg \alpha_0 = b,$$

et, en outre :

$$(12) \quad \frac{n + n'}{r'} + \frac{n}{\rho_0} = \frac{I_0}{\epsilon_0} = c.$$

Les relations (11) et (12) expriment respectivement que le nombre d'ampères-tours doit être égal à la valeur choisie I_0 , et le potentiel ϵ égal à ϵ_0 en régime normal, la valeur de $\frac{\epsilon}{i-i'}$, ayant elle-même la valeur fixée ρ_0 .

D'autre part, si l'on désigne par P la résistance des N spires enroulées sur l'armature et par p celle des n spires S , de telle sorte que :

$$(13) \quad r = P + p,$$

il est facile de voir que le volume des N spires de l'armature est proportionnel à $\frac{N^2}{P}$, et que celui des n spires S et des n' spires D est proportionnel à $\left(\frac{n^2}{p} + \frac{n'^2}{r'}\right)$, en supposant l'épaisseur des couches isolantes proportionnelle au diamètre des fils (nous adoptons cette hypothèse pour fixer les idées). Ces volumes étant donnés *a priori*, on aura donc deux nouvelles relations :

$$(14) \quad \frac{N^2}{P} = d,$$

$$(15) \quad \frac{n^2}{p} + \frac{n'^2}{r'} = e.$$

Quant au rendement, pour qu'il soit élevé, il faut,

comme nous l'avons vu plus haut, que le rapport $\frac{r'}{r}$ soit très grand. Nous poserons donc :

$$(16) \quad \frac{r'}{r} = g,$$

g ayant une valeur très grande (500 ou 1.000, par exemple). Dans ces conditions, pour les valeurs de ρ ne s'éloignant pas trop de la valeur $\sqrt{rr'}$, le rendement aura sensiblement la valeur $\frac{\sqrt{g}}{2 + \sqrt{g}}$, qui est très voisine de 1. — Si l'on tenait à ce que le rendement normal pour $\rho = \rho_0$ fût égal à une valeur déterminée u_0 , il faudrait écrire la condition plus compliquée :

$$\frac{\rho_0 r'^2}{(\rho_0 + r')[\rho_0(r + r') + rr']} = u_0.$$

Enfin, il s'agit d'écrire que le potentiel ϵ varie seulement de la fraction θ lorsque le courant extérieur ($i - i'$), par exemple, décroît de $(i - i')_0$ à $\frac{(i - i')_0}{\alpha'}$, α' étant un nombre quelconque (10, 20, ... ou même l'infini). Remarquons, à cet effet, que d'après l'équation (5), on a :

$$\epsilon = \frac{nr'}{nr' - n'r} \left[VN\varphi(I) - \frac{r}{n} I \right],$$

ou, en tenant compte de la relation : $VN\varphi'(I_0) - \frac{r}{n} = 0$.

$$\epsilon = \frac{VNnr'}{nr' - n'r} [\varphi(I) - I\varphi'(I_0)].$$

Pour une autre valeur I' on aurait une valeur ϵ' telle que :

$$\frac{\epsilon'}{\epsilon} = \frac{\varphi(I') - I'\varphi'(I_0)}{\varphi(I) - I\varphi'(I_0)},$$

Si l'on prend $I = I_0$, $\epsilon = \epsilon_0$, et si ϵ' désigne la valeur limite $(1 - \theta)\epsilon_0$ au-dessous de laquelle ϵ ne doit pas descendre, on voit que pour cela I ne doit pas devenir inférieur à la limite I' définie par :

$$\frac{\varphi(I') - I'\varphi'(I_0)}{\varphi(I_0) - I_0\varphi'(I_0)} = 1 - \theta.$$

Cette limite I' est *indépendante du mode d'enroulement*,

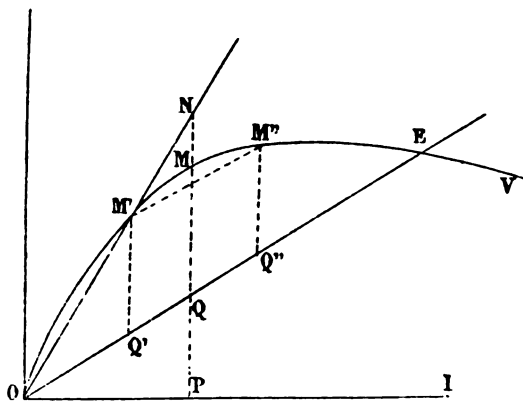


Fig. 25.

puisque $N, n, n', \dots$ n'entrent pas dans l'équation précédente. On peut donc la déterminer au moyen de la courbe OV (fig. 24 et 25) construite pour l'enroulement provisoire. MQ étant l'ordonnée maximum de la courbe au-dessus de la droite OE , il est facile de déterminer un point M' (fig. 25) tel que $\frac{M'Q'}{MQ} = 1 - \theta$. Comme le potentiel ϵ est proportionnel à l'ordonnée MQ , on aura donc :

$$\frac{\epsilon'}{\epsilon_0} = \frac{M'Q'}{MQ},$$

et la valeur cherchée de la limite I' n'est autre chose que l'abscisse du point M' .

D'un autre côté l'expression (4) de $(i - i')$ étant proportionnelle à $\left[\frac{r + r'}{n + n'} I - \sqrt{N} \varphi(I) \right]$, le rapport des valeurs de $(i - i')$ pour les nombres d'ampères-tours I' et I_0 est :

$$\frac{\frac{r + r'}{n + n'} I' - \sqrt{N} \varphi(I')}{\frac{r + r'}{n + n'} I_0 - \sqrt{N} \varphi(I_0)}.$$

Comme ce rapport est égal, par hypothèse, à $\frac{1}{\alpha'}$ on en déduit, en tenant compte de la relation (10) :

$$(17) \quad \begin{cases} \frac{r + r'}{n + n'} \frac{n}{r} = \sqrt{N_0} \cotang \alpha_0 \frac{\alpha' \varphi(I') - \varphi(I_0)}{\alpha' I' - I_0} \\ \quad \quad \quad = \frac{\alpha' E' - E_0}{\alpha' I' - I_0} \cotang \alpha_0 = h, \end{cases}$$

E' et E_0 étant les ordonnées de la courbe OV correspondant aux abscisses I' et I_0 .

La condition (17) étant satisfaite, le potentiel ϵ restera supérieur à $\epsilon_0(1 - \theta)$, tant que I restera compris entre l'abscisse I' du point M' (fig. 25) et l'abscisse I'' du point M'' pour lequel $M''Q'' = M'Q' = MQ(1 - \theta)$; et par suite tant que le courant extérieur $(i - i')$ restera compris entre $\frac{(i - i')_0}{\alpha'}$ et une certaine valeur $\frac{(i - i')_0}{\alpha''}$ ($\alpha' > 1 > \alpha''$). La valeur de α'' sera déterminée par l'équation :

$$\frac{\alpha'' E'' - E_0}{\alpha'' I'' - I_0} = \frac{\alpha' E' - E_0}{\alpha' I' - I_0},$$

ou, par approximation :

$$\alpha'' = \frac{\alpha'}{2\alpha' - 1}.$$

Dans le cas où l'on prend α' infini, α'' est égal à $\frac{1}{2}$ et la relation (17) devient :

$$(17 \text{ bis}) \quad \frac{r + r' n}{n + n' r} = \frac{E'}{I'} \cotang \alpha_0 = h.$$

Alors le potentiel ϵ ne variera que de la fraction θ lorsque le courant $(i - i')$ croîtra de zéro à la valeur $2(i - i')_0$.

Nous avons enfin les huit relations, de (10) à (17) inclusivement, qui permettront de calculer les valeurs à donner à N, n, n', r, r', P, p, V , et par suite de transformer l'enroulement provisoire en enroulement définitif répondant au but que l'on se propose. Indiquons brièvement les calculs à effectuer. — On tirera *successivement* : de l'équation (16), la valeur de $\frac{r'}{r}$; de (17), $\frac{n'}{n}$; de (11), r' et par suite r ; de (12), n et n' ; de (15), p ; de (13), P ; de (14), N ; enfin de (10), la valeur de V .

Les valeurs ainsi trouvées pourront ne pas convenir, soit qu'elles conduisent au choix d'un diamètre de fil trop fin ou d'une vitesse trop considérable, soit pour toute autre raison. Mais après ce premier essai, où nous sommes partis d'une valeur arbitraire I_0 , nous pouvons en faire un second en partant d'une seconde valeur I_1 , puis d'une troisième I_2 , etc. Ces tâtonnements exigent quelques petits calculs très simples, comme on voit, et dispensent d'essayer au hasard un certain nombre d'enroulements successifs sur la carcasse. Ils feront connaître l'enroulement le plus convenable à adopter, après vérification expérimentale.

Il est à remarquer, d'ailleurs, que si l'on est conduit à une valeur trop considérable de la vitesse V , on peut

l'abaisser dans d'assez fortes proportions, surtout si le rapport $\left(\frac{r+r'}{n+n'} \cdot \frac{n}{r} = h\right)$ a une assez grande valeur, c'est-à-dire si l'angle des droites ON et OE (*fig. 24*) est assez grand. Pour une vitesse V' inférieure à V , en effet, l'autorégulation a encore lieu, mais pour une valeur de I inférieure à I_0 , il est vrai, puisque les ordonnées de la courbe OV étant réduites dans le rapport $\frac{V'}{V}$, le point M où la tangente est parallèle à OE se rapproche de l'origine.

Solution au moyen de l'enroulement en série et courte dérivation. — On imagine facilement comment, dans ce cas, la solution précédente doit être transformée. Les équations (1) deviennent :

$$\varepsilon + p(i - i') = VN\varphi(I) - ri = r'i' = (p + p')(i - i').$$

Les conditions à remplir sont les mêmes que dans le cas précédent. On n'aura donc qu'à reproduire les raisonnements que nous avons faits, après avoir fait un enroulement provisoire assujetti à la seule condition (7') :

$$\frac{r}{n} < \frac{r+r'}{n'},$$

et destiné à déterminer la caractéristique de la carcasse donnée.

S'il s'agit de maintenir constante l'intensité du courant dans le circuit extérieur, ce cas ne présente pas plus de difficultés que les précédents. Il est caractérisé par l'une ou l'autre des conditions :

$$\frac{r}{n} > \frac{r'}{n'},$$

ou :

$$\frac{r}{n} > \frac{r + r'}{n'},$$

suivant que l'enroulement est en longue ou en courte dérivation. Nous ne développerons pas les calculs.

Autres solutions. — Parmi les électriciens qui ont cherché à résoudre théoriquement le problème de l'autorégulation d'une dynamo, nous citerons M. Fröhlich et M. Rucker (*). Leurs solutions présentent le défaut

d'être basées sur la formule de Fröhlich : $E = \frac{Vai}{1 + bi}$,

qui, ainsi que nous l'avons montré, ne peut représenter la caractéristique, si ce n'est sur une longueur relativement faible. On vient de voir combien est simple la solution basée sur l'étude de la caractéristique, sans idée préconçue sur l'équation qui la représente.

Les calculs de MM. Fröhlich et Rucker sont très ingénieux et présentent beaucoup d'intérêt; mais on s'aperçoit, en les parcourant, que si l'adoption de la

formule $\frac{Vai}{1 + bi}$ paraît devoir simplifier les applications, il n'en est rien. D'ailleurs nous ferons remarquer que si, par un choix convenable des coefficients a et b , on peut faire en sorte que la

courbe : $E = \frac{Vai}{1 + bi}$ soit tangente à l'arc de caractéristique que l'on veut utiliser, on ne peut pas faire en sorte, en général, qu'elle ait le même rayon de courbure que lui. Or cette dernière condition est importante à observer, si l'on veut que l'autorégulation soit satisfaisante

(*) Fröhlich : *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1885. — Rucker : *Philosophical Magazine*, juin 1885. M. E. Boistel a développé dans l'*Électricien*, 1885-86, la solution de M. Rucker.

et que le potentiel ϵ varie au plus d'une fraction θ pendant les variations extrêmes du circuit extérieur à la machine (voir ci-dessus). On doit avoir, en effet (*fig.* 25):

$$\frac{M'Q'}{MQ} = 1 - \theta,$$

ou :

$$\theta = \frac{MQ - M'Q'}{MQ},$$

et la différence $(MQ - M'Q')$ dépend, comme on le sait, de la courbure de la courbe, à laquelle elle est proportionnelle.

Citons encore la solution donnée par M. S.-P. Thompson dans son important ouvrage, auquel nous avons fait déjà de nombreux renvois. Cet auteur, combinant l'emploi de la formule : $E = V\alpha i$ avec celle de Fröhlich, arrive à poser, pour l'autorégulation au moyen d'une dynamo composée à longue dérivation, une règle qui, dans notre système de notations, peut s'écrire :

$$\frac{r}{n} = \frac{r'}{n'} = V k,$$

Vk étant le coefficient angulaire de la tangente à l'origine de la courbe OV (*fig.* 24). Cette règle s'appliquerait également pour la constance du potentiel et pour celle du courant, ce qui est inadmissible, attendu que l'on doit avoir pour la constance du courant la condition (6) :

$$\frac{r}{n} > \frac{r'}{n'},$$

et pour celle du potentiel la condition (7) :

$$\frac{r}{n} < \frac{r'}{n'}.$$

Si, en outre, on donne à la vitesse V une valeur telle

que : $Vk = \frac{r}{n}$, on voit sur la figure 24 que *la dynamo ne peut même s'amorcer*. — Les règles données par le même auteur pour le cas de l'enroulement en série et courte dérivation sont également inexactes. L'une de ces règles, par exemple, étant donnée par la formule :

$$\frac{Z}{S} = \frac{r_a + r_s}{r_a + r_m},$$

suivant les notations de M. Thompson, M. Fröhlich a trouvé *expérimentalement* sur une machine donnant effectivement un potentiel constant :

$$\frac{Z}{S} = 17,7,$$

tandis que :

$$\frac{r_a + r_s}{r_a + r_m} = 61,9,$$

ce qui met assurément en défaut la règle de M. Thompson.

XI. — AUTORÉGULATION DES MOTEURS.

Nous allons aborder ici un problème inverse du précédent, savoir : Étant donnée une dynamo réceptrice, aux bornes de laquelle on fournit une différence de potentiel constante ou un courant constant, quelles sont les conditions nécessaires pour que la vitesse de rotation reste constante, malgré les variations possibles de la résistance mécanique appliquée à l'arbre de la machine?

On a proposé de ce problème plusieurs solutions, dont quelques-unes consistent à introduire ou à sup-

primer, soit à la main, soit automatiquement, des résistances électriques dans le circuit lorsque la demande de travail varie, de manière à maintenir la vitesse constante.

Nous indiquerons seulement la solution basée sur les propriétés des dynamos à enroulement composé.

Considérons le cas de la dynamo en série et longue dérivation (*fig. 21*). Lorsqu'elle sert de réceptrice, le courant i change de sens; mais le courant i' et la vitesse V gardent le même signe. On aura donc, en conservant les notations des chapitres précédents :

$$\epsilon = E + ri = r'i',$$

avec :

$$E = VN\varphi(-ni + n'i').$$

Ces équations sont les mêmes que celles que nous avons plus haut, sauf le changement de signe de i . Donc la condition pour que la vitesse V reste constante, malgré les variations de courant, ϵ étant invariable, sera la même que celle que l'on a trouvée (10) pour que ϵ reste constant lorsque V ne varie pas. Le calcul des enroulements convenables pour l'autorégulation se ferait de la même manière dans le cas de la réceptrice que dans celui de la génératrice, sauf les modifications légères que comporte la différence des cas au point de vue de l'interprétation des formules.

Si l'intensité du courant reste assez faible, ou plutôt si le nombre d'ampères-tours ($-ni + n'i'$) est tel que l'électro soit assez éloigné de son point de saturation, condition que l'on peut considérer comme réalisée quelquefois en pratique, alors la fonction φ est linéaire et la force *e. m.* E est proportionnelle à ($-ni + n'i'$). La portion de la courbe OV (*fig. 24*) utilisée est l'arc rec-

tiligne du début (*), et l'on peut écrire :

$$\varepsilon = VNk(-ni + n'i') + ri = r'i',$$

On tire de là :

$$(18) \quad VNk = \frac{r'i' - ri}{n'i' - ni}.$$

La vitesse V sera constante et indépendante des variations du courant, si l'on a :

$$\frac{r}{n} = \frac{r'}{n'},$$

d'où résulte :

$$VNk = \frac{r}{n}.$$

Si l'on veut que la vitesse soit constante et, en outre, égale à une valeur fixée V_1 , l'enroulement devra satisfaire aux deux conditions :

$$(19) \quad \frac{r}{Nn} = \frac{r'}{Nn'} = V_1 k.$$

L'effort statique développé par le moteur est, comme on sait :

$$t = \frac{E}{V} i = Nki(-ni + n'i').$$

Il est égal, en régime normal, à la résistance à vaincre. Donc la valeur de celle-ci détermine l'intensité i du courant dans l'armature, puisque i' est constant ($i' = \frac{\varepsilon}{r}$). L'équation qui donne i en fonction de t est du second degré. Elle a deux racines, auxquelles correspondent deux valeurs possibles de la vitesse, données par la formule (18). Ces deux valeurs se confon-

(*) Ce cas a été étudié par MM. Ayrton et Perry (voir *Journal of the Society of telegraph engineers*, mai 1883). Ils en ont déduit la théorie de l'autorégulation que nous exposons ci-après.

dent et sont égales à $\frac{r}{Nnk}$ lorsque

$$\frac{r}{n} = \frac{r'}{n'}.$$

Les racines de l'équation en i deviennent imaginaires pour une valeur trop grande de t ; ou, ce qui revient au même, l'effort t que peut développer la dynamo a une limite, chose évidente *a priori*, pour une différence de potentiel ϵ déterminée. Cette limite est :

$$t_1 = \frac{N}{n} k \frac{n'^2 i'^2}{4} = \frac{N}{n} k \frac{n'^2 \epsilon'^2}{4 r'^2},$$

ou, lorsque les conditions (19) sont remplies :

$$t_1 = \frac{\epsilon^2}{4 V_1^2 k N n}.$$

Si donc on veut que la dynamo puisse développer un effort maximum t , il faut que l'enroulement soit tel que :

$$(20) \quad Nn \leq \frac{\epsilon^2}{4 V_1^2 k t}.$$

Les formules (19) et (20) ne suffisent pas pour déterminer les enroulements à adopter. On aura encore une certaine latitude, dont on pourra profiter pour réaliser d'autres desiderata.

Si l'on adopte les règles précédentes (19), il se présente, au moment de la mise en marche du moteur, un fait particulier qui mérite d'être signalé. Lorsqu'on envoie le courant, la vitesse V étant nulle au début, la force *e. m.* induite est nulle et l'on a, d'après la loi des courants dérivés : $ri = r'i'$. Et comme $\frac{r}{n}$ est égal à $\frac{r'}{n'}$, il en résulte : $ni = n'i'$. Le nombre d'ampères-

tours ($-ni + n'i''$) est nul et, par suite, aucune force *e. m.* ne peut être engendrée. La machine ne peut démarrer d'elle-même et l'on est obligé de lui imprimer un commencement de rotation. Il peut même arriver, soit à cause du magnétisme rémanent, soit parce que la condition $\frac{r}{n} = \frac{r'}{n'}$, n'est pas tout à fait remplie, etc., que la machine se mette à marcher à contre-balais, si l'on ne prend pas la précaution que nous venons d'indiquer.

A ce propos, signalons un fait analogue et des plus curieux. Si l'on met en mouvement une dynamo à simple enroulement en dérivation au moyen d'une machine semblable, on voit la réceptrice tourner d'abord de plus en plus vite et atteindre une vitesse exagérée; puis cette vitesse se ralentit, décroît jusqu'à zéro et devient négative, c'est-à-dire que la réceptrice repart en sens inverse. La rotation en sens inverse s'accélère peu à peu et atteint, comme la précédente, des limites excessives; puis elle décroît et tombe à zéro. La machine repart alors dans le sens direct, et le même fait peut se reproduire indéfiniment. En même temps le courant change de sens, prenant des valeurs tantôt positives, tantôt négatives. L'explication de ce fait est des plus simples (voir Kapp : *Electric transmission of energy*).

Nous bornerons ici notre étude sur les machines magnéto et dynamo-électriques. Nous ne pouvons aborder dans ce recueil ni la description des divers types de machines, ni celle des nombreuses applications industrielles auxquelles ils se prêtent (éclair-

rage, chemins de fer électriques, telphérage, etc.), ni les méthodes d'accouplement des dynamos, ni la théorie, encore bien obscure, des carcasses en fer de formes et de dimensions diverses. Pour toutes ces questions, ainsi que pour les données pratiques et tous autres renseignements, nous renverrons les lecteurs des *Annales télégraphiques* aux traités spéciaux de MM. Cadiat et Dubost, Fontaine, Hospitalier, S.-P. Thompson, G. Kapp, Fröhlich, etc., et aux nombreux articles récents épars dans *la Lumière électrique*, *l'Électricien*, *la Revue internationale de l'électricité*, etc., etc.

(Fin)

VASCHY.

ADAPTATION DE L'APPAREIL HUGHES

A LA TRANSMISSION MULTIPLE

SYSTÈME DE M. J. MUNIER

Commis au Poste Central des Télégraphes, à Paris.

L'idée d'appliquer à l'appareil Hughes, moyennant quelques modifications ou additions, les procédés de la télégraphie multiple n'est pas nouvelle. Elle devait d'autant plus tenter les inventeurs que, de prime abord et si on n'approfondit pas l'étude de toutes les conditions de bon fonctionnement de cet appareil, il semble qu'il peut, mieux que tout autre, se prêter à la transmission multiple, en raison du peu de travail qu'il demande à l'électricité et, par suite, à la ligne. Aussi divers projets ont-ils été présentés depuis une quinzaine d'années par plusieurs fonctionnaires des télégraphes, entre autres MM. Guillaume en 1872, Villeneuve dans la même année, J. Munier (1^{re} manière) en 1874, Moreux en 1877, J.-J. Robert en 1878-1879. Les uns n'ont pas paru suffisamment étudiés et les autres ont donné lieu à des objections sérieuses, soit au point de vue électrique, soit à cause des dispositions mécaniques proposées.

Sans se laisser décourager par l'échec de son premier projet, M. Munier continua ses recherches et soumit, en 1883, à l'administration, un système ~~mieux~~ étudié et

plus complet qui, tout en donnant lieu à des réserves importantes, fut en somme jugé favorablement par la commission chargée de l'examiner. Il put alors, grâce à cet appui moral, entrer en relations avec une maison de construction (*), où, après de laborieux efforts, il parvint, il y a quelques mois, à réaliser un premier type de son invention, assez complètement pour démontrer la possibilité du système, au point de vue mécanique. Des essais, faits récemment en ligne, ont ensuite donné des résultats qui ne sont pas encore assez concluants pour présager un succès final, mais justifient néanmoins l'accueil favorable fait, en 1883, aux propositions de l'inventeur.

Dans le système de M. Munier, il est fait usage d'un distributeur comportant *théoriquement* (**) autant de secteurs que d'appareils Hughes compris dans l'installation. Chaque secteur renferme 28 contacts reliés électriquement aux 28 touches du clavier correspondant, et l'émission est préparée, comme au Hughes, par l'abaissement d'une touche, mais une seule émission peut avoir lieu par tour et par secteur ou clavier ; rien d'important n'est changé aux organes mécaniques qui concourent à l'impression. L'axe du distributeur et les axes des roues des types des divers appareils tournent à la même vitesse, ce qui revient à utiliser un transmetteur tournant n fois plus vite que le récepteur, n étant le nombre des secteurs. Les roues des

(*) Maison Bréguet. — Les études sont actuellement poursuivies dans les ateliers du ministère.

(**) On verra plus loin que, dans la pratique, il n'en est pas ainsi, mais que les divisions du distributeur sont faibles comme si le nombre des appareils était augmenté d'une unité.

types partent du repos au moment où la ligne arrive sur le secteur correspondant. L'émission, préparée par l'abaissement d'une touche, est transmise automatiquement sur la ligne à un moment déterminé qui la caractérise et qui correspond lui-même au passage du balai frotteur, relié à la ligne, sur un point situé à $\frac{a}{28n}$ de la couronne du distributeur. A l'arrivée au récepteur, le courant, par l'intermédiaire d'un électro-aimant, provoque la chute d'un cliquet qui vient embrayer à un point situé également à $\frac{a}{28n}$ d'une roue à rochet partie de la position de repos en même temps que la roue des types. Le signal se trouve ainsi recueilli, puis *emmagasiné* dans cet organe dit compensateur jusqu'au moment où la roue des types a parcouru, non pas les $\frac{a}{28n}$, mais bien les $\frac{a}{28}$ de sa révolution. A ce moment seulement les organes d'impression sont mis en mouvement pour traduire le signal, c'est-à-dire quand le temps qui s'est écoulé entre l'arrivée de la ligne sur le secteur et le moment de l'émission se trouve multiplié par n , ou bien, si on préfère, au bout d'une durée $t(n-1)$ après le moment de l'émission, t représentant le temps écoulé avant qu'elle ait été effectuée. Dans cet intervalle, la ligne se trouve mise successivement à la disposition des autres appareils.

Tel est le principe du Hughes multiple de M. Mu-
nier. Quelques développements le feront mieux com-
prendre.

Soit le cas d'une installation Hughes quadruple, dans

laquelle chacun des appareils aurait la ligne à sa disposition pendant un quart de la révolution d'un frotteur sur un distributeur.

Il est évident que, pour obtenir, sans autre modification, le rendement de quatre appareils, il faudrait donner aux distributeurs la vitesse normale du Hughes, et rendre quatre fois plus grande celle des appareils ; cette solution n'est pas pratique, puisqu'il est admis que la vitesse de l'appareil Hughes doit être maintenue entre 110 et 140 tours.

Il importe donc de laisser aux appareils leur vitesse normale. On pourrait alors :

1° En ce qui concerne la transmission, effectuer les émissions non plus par l'intermédiaire des 28 goujons et du chariot, mais d'une manière analogue à celle qui est en usage dans la plupart des appareils multiples, c'est-à-dire en formant de 28 contacts chacun des secteurs du distributeur et en reliant électriquement ces 28 contacts aux 28 touches du clavier, que la pression du doigt amènerait contre un butoir de pile, un métronome ou frappeur de cadence indiquant le moment opportun pour cette opération ;

2° En ce qui concerne la réception, rassembler les 56 caractères ou blancs sur un quart de la périphérie de la roue des types et diviser en 28^{es} le quart correspondant de la roue correctrice, ce qui équivaldrait à une division en 112^{es}.

Cette disposition ne serait pas sans présenter de nombreux inconvénients au point de vue du fonctionnement des organes d'impression et la correction même ne serait plus efficace qu'à la condition de ne pas avoir à rectifier des écarts supérieurs à $1/224^e$ de tour, correspondant soit à une avance ou à un retard

de $1/448^{\circ}$ de seconde, à la vitesse de 120 tours. En outre, étant donné le rapport entre les vitesses de l'arbre des cames et de l'axe de la roue des types, il ne serait plus possible de faire les *combinaisons* qui sont effectuées dans la manipulation du Hughes ordinaire. Cet inconvénient se trouverait, il est vrai, largement compensé par le plus grand nombre d'appareils desservant le même fil, mais il en serait un autre des plus sérieux qui consisterait à mettre l'appareil hors d'état d'être utilisé en *simple*, à moins d'avoir des organes de rechange pour la correction et l'impression, et, par conséquent, de transformer trop radicalement le matériel existant.

Ces diverses considérations et principalement la dernière, ont conduit M. Munier à adopter en principe les dispositions ci-dessus pour la transmission, mais à rejeter toute modification essentielle des organes ordinaires de réception.

Il s'est alors trouvé, comme le disait M. Samuel dans une communication faite dernièrement à la Société internationale des électriciens, en présence du problème suivant :

Étant donnée une roue des types réceptrice tournant à une vitesse V , transmettre avec un manipulateur animé d'une vitesse nV , n étant le nombre des appareils placés en multiple; autrement dit, dans le cas supposé d'une installation quadruple, recevoir dans un appareil tournant à 120 tours les émissions effectuées au départ dans des conditions telles que si le transmetteur tournait à 120×4 ou 480 tours.

La solution n'était possible qu'à la condition de ne plus laisser de lien immédiat entre la réception du courant et l'impression du caractère et de rendre ces

deux opérations pour ainsi dire indépendantes. M. Munier eut alors recours à un organe spécial, qui est la partie essentielle de son invention et dont le rôle rappelle celui du *combinateur* de M. Baudot. De même que le combinateur a pour fonctions, dans l'appareil Baudot, d'effectuer après coup la traduction d'un signal *recueilli et conservé* par les électro-aiguilleurs et leurs leviers chercheurs (*), de même, le *compensateur* a pour fonctions, dans l'appareil Munier, de faire traduire en temps opportun, par les organes d'impression, *la position prise et conservée* sur une roue à rochet spéciale, par un cliquet dont la chute a été déterminée par le déclenchement de l'électro-aimant et a, par suite, marqué et, pour ainsi dire, enregistré le *moment* de l'arrivée du courant ou de l'émission.

On sait que, dans le Hughes, chaque caractère est dû à une émission unique et de même valeur dans tous les cas, mais que les émissions sont espacées par des intervalles qui, quoique variables, correspondent toujours à un nombre exact de 28^{lèmes} de tour du chariot et de la roue des types, de telle sorte que c'est le *moment* seul de l'émission et même de son début qui caractérise le signal transmis.

Dans le système Munier, les émissions commencent, comme dans le Hughes, à 28 *moments* ou points différents, mais ceux-ci, au lieu d'être séparés par $1/28^e$ de la circonférence décrite par le chariot ou frotteur ne le sont plus que par $\frac{1}{28n}$, n étant le nombre des secteurs. Avec un distributeur quadruple et pour un même clavier, le commencement

(*) *Télégraphe imprimeur Baudot*, notice descriptive. Paris, 1885.

d'une émission, ou l'envoi d'une lettre, est donc déterminé par l'un des $\frac{28}{112}$ dont se compose le secteur correspondant.

La figure théorique n° 1 permet de se faire une idée des diverses conditions de fonctionnement.

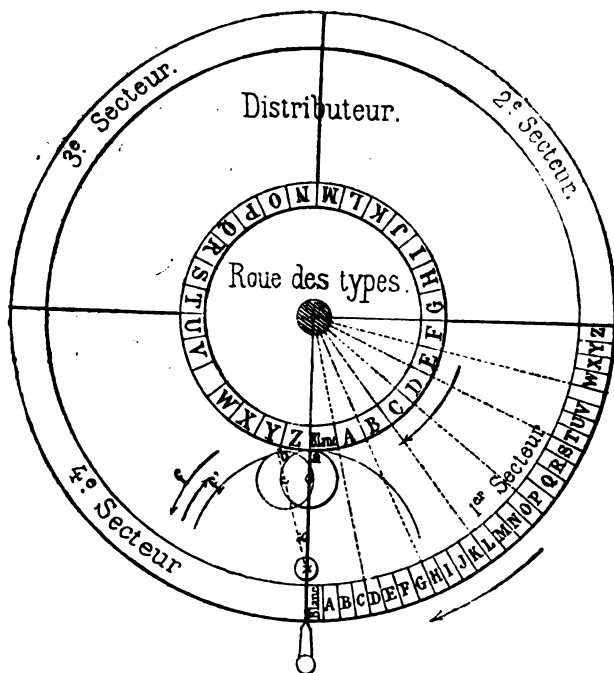


Fig. 1.

Si on suppose que, dans le distributeur, c'est le frotteur ou index qui est fixe et le disque mobile, et si on considère, comme montés sur le même axe, les roues des types et le distributeur (qui ont la même vitesse angulaire), chaque roue étant calée (*) de manière à pré-

(*) Une seule roue est représentée dans la figure.

senter le commencement de la première division (blanc) sur le même rayon que le commencement du secteur correspondant, on voit que le distributeur avance de $\frac{4}{28}^\circ$ de secteur ou de quatre lettres pendant que la roue des types ne progresse que d'un $\frac{1}{28}^\circ$ de tour ou d'une lettre.

Ainsi, tous les organes partant simultanément de la position de repos, on veut, par exemple, transmettre la lettre D: l'émission doit commencer sur le cinquième contact du secteur, mais à ce moment la roue des types n'a encore progressé que de l'intervalle réservé au blanc (*), et il lui reste à parcourir encore trois autres intervalles ou 28^{es} pour amener la lettre D sur la verticale passant par le centre de la roue. Il est donc de toute nécessité que l'impression soit retardée d'un temps trois fois égal à celui qui s'est écoulé entre le départ de la position de repos et l'émission du courant. A cet effet, on peut admettre un instant que le cylindre d'impression, au lieu d'être maintenu sur la verticale, se trouve porté par un disque ou autre mobile qui, normalement, quitterait sa position de repos en même temps que les autres organes et se déplacerait avec la même vitesse angulaire dans le sens de la grande flèche f ; seulement, le sens de ce mouvement pourrait être brusquement renversé au moment de l'action du courant, afin de ramener le cylindre en arrière avec une vitesse angulaire trois fois moindre (petite flèche f').

Alors, dans le cas ci-dessus de la transmission de la lettre D, le cylindre d'impression s'est déplacé d'un angle α , de a en b , pendant que la roue des types

(*) Il serait plus exact d'envisager la roue correctrice, mais il ne s'agit que d'une démonstration générale.

a progressé d'un angle égal, au moment où a lieu l'émission sur le cinquième contact du distributeur; celle-ci a pour résultat immédiat de renverser le mouvement du cylindre qui revient alors de *b* en *a*, en trois fois plus de temps, c'est-à-dire qu'il met à opérer ce mouvement rétrograde exactement le même temps que la roue des types pour avancer de trois autres 28^{èmes}. Le cylindre se retrouve donc sur la verticale au même moment que la lettre D, et l'impression de la lettre visée au départ peut avoir lieu, pendant que le distributeur amène sous le frotteur les contacts correspondant aux lettres P, Q, R, S.

On voit aussi que, pour la transmission d'une lettre comprise entre G et M inclus, l'impression aurait lieu quand la ligne (représentée par le frotteur) parcourrait déjà le deuxième secteur; que celle des lettres N à T se ferait pendant le temps réservé aux transmissions du troisième appareil et celle des lettres V à Z pendant que la ligne serait utilisée par le quatrième. De cette façon, les quatre roues peuvent imprimer *simultanément* chacune une lettre, par exemple, V, O, H, A, etc., etc., quoique chacune de ces lettres ait été transmise à $1/4$ de tour d'intervalle; mais une conséquence de cette disposition est de ne pouvoir faire qu'une émission par tour et par secteur ou clavier.

Il existe donc toujours un rapport constant qui, multipliant le temps écoulé entre le départ simultané des organes et le moment de l'émission, détermine le moment de l'impression; ce rapport est égal au nombre de secteurs du distributeur et l'on a ainsi, dans un quadruple, une sorte de transformation de 112^{es} d'un temps déterminé en 28^{es} du même temps, et dans un quintuple de 140^{es} en 28^{es}, etc. En pratique,

cette transformation, cette *compensation*, comme dit

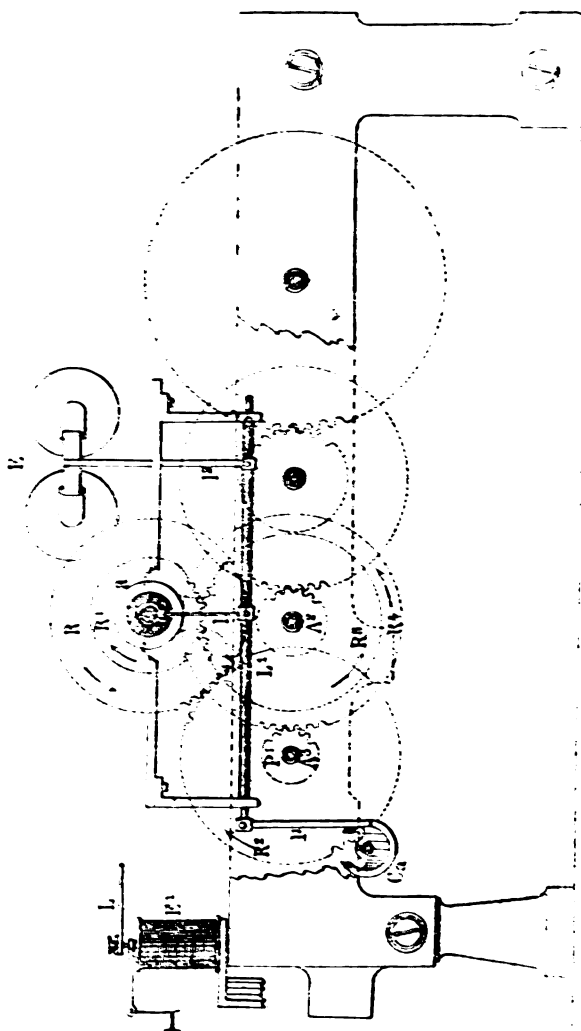


FIG. 2.

l'inventeur, ne s'effectue pas directement sur le cy-

lindre d'impression, comme on l'a supposé, mais au moyen de l'organe spécial, dit *compensateur*, organe qui constitue la partie essentielle de l'invention et dont il semble bon de donner une description sommaire avant d'étudier plus en détail les dispositions d'ensemble de tout le système.

Compensateur. — Dans l'appareil qui a servi aux

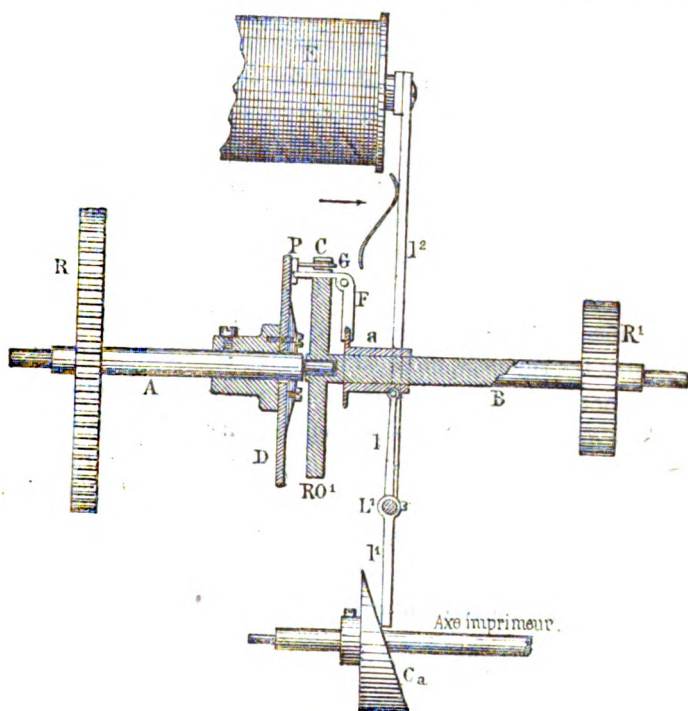


Fig. 3.

dernières expériences, le mécanisme compensateur était supporté par un plateau s'adaptant au-dessus de l'appareil Hughes. Ce mécanisme est représenté en coupe par la *fig. 3*, et on en trouve une perspective, plus

ou moins exacte, dans la Pl. ci-contre, dont les diverses parties n'occupent pas les positions et n'ont pas les proportions qui leur sont données en réalité, mais ont été soit écartées, soit agrandies, de manière à rendre visibles tous les organes importants (*).

A et B sont deux axes situés sur le même prolongement, comme l'axe du volant et l'axe imprimeur de l'appareil Hughes. L'axe A porte une roue R de même diamètre que la roue R_1 de l'axe de la roue des types avec laquelle il engrène; il tourne donc en sens inverse des aiguilles d'une montre et *avec la même vitesse que l'axe de la roue des types*. L'axe B porte une roue ou pignon R_1 engrenant avec une roue R_2 ajoutée à cet effet sur l'axe A_2 du troisième mobile, et il est entraîné dans le sens des aiguilles d'une montre; les deux axes A et B tournent donc en sens contraire, quoiqu'étant situés sur le même prolongement. Quant au rapport entre les roues R_1 et R_2 , il doit être établi de manière à donner à l'axe B *une vitesse trois fois plus petite que celle de l'axe A*. (D'une façon plus générale, la vitesse de l'axe B doit être $n - 1$ fois moindre que celle de l'axe A, n étant le nombre par lequel il faut diviser $1/28$ de circonférence pour avoir la valeur de l'écart entre les deux points du distributeur qui marquent le commencement de deux contacts consécutifs. Cet écart dans l'appareil d'expérience étant de $1/112$ ou de $\frac{1}{28 \times 4}$ de circonférence, le rapport des vitesses des axes A et B doit donc être de $4 - 1 = 3$).

L'extrémité antérieure de l'axe A est munie d'un

(*) Ces dessins ont été relevés sur l'appareil d'expérience par M. J. Schils, commis au Poste central.

disque D dont le montage est identique à celui de la roue de frottement ou rochet de correction de l'appareil Hughes. Il s'ensuit que ce disque peut se trouver dans trois situations différentes :

1° Rester au repos si un obstacle quelconque s'oppose à sa rotation ;

2° Être entraîné dans le mouvement de l'axe A si aucun obstacle ne s'oppose à son déplacement ;

3° Être entraîné en sens contraire de l'axe A, s'il est soumis à un effort suffisant dans ce sens.

Il est, en temps normal, maintenu à la position de repos au moyen d'un doigt ou traverse T, qui vient buter contre l'extrémité en forme de dent d'un levier L, dont on verra le rôle plus loin ; il est, en outre, muni d'une potence P, dont la goupille G supporte un cliquet C, soumis à l'action de ressorts non représentés dans la figure. Ce cliquet se trouve, par rapport aux axes, dans le même plan perpendiculaire qu'une roue de rochet RO, fixée à l'extrémité postérieure de l'axe B et tournant par suite dans le même sens que ce dernier.

L'extrémité de la potence P, grâce à l'action des ressorts, appuie sur la partie à peu près parallèle aux axes d'un levier coudé F, articulé sur une pièce dépendant de la traverse T. L'autre bras du levier affecte une forme particulière, indiquée dans la Planche I ; c'est une sorte de double fourchette entre les dents de laquelle s'engage la joue d'un manchon α , qui est très libre sur l'axe B et auquel l'inventeur donne le nom de couronne. (La forme et les fonctions de ce manchon se rapprochent beaucoup de celle de l'organe similaire actuellement placé sur l'axe du chariot). Ce manchon est lui-même solidaire d'un bras de levier l porté par

le grand arbre transversal L , dont l'extrémité de droite porte le bras de levier l_2 , qui est censé porter l'armature d'un électro-aimant E et dont l'extrémité de gauche est munie d'un autre bras l_1 , placé à portée d'une came excentrique Ca , montée sur l'axe imprimeur.

L'ensemble des bras de levier l , l_1 , l_2 et de leur arbre commun L , pourrait être appelé levier de l'armature.

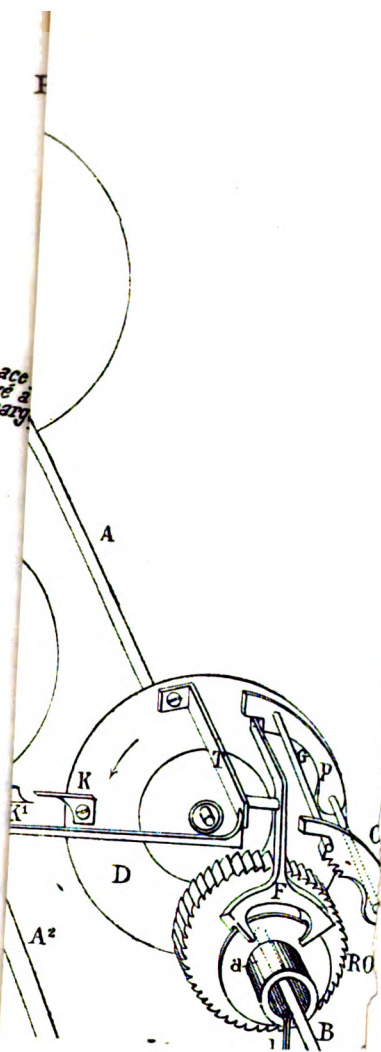
Lorsque celle-ci est en contact, le bras l , qui suit les mouvements de l_2 , maintient la joue du manchon a , à peu de distance du rochet RO_1 , de telle sorte que le levier F soulève la potence P et éloigne le cliquet du rochet; lorsque l'armature est, au contraire, écartée des pôles, le manchon a est amené en avant et fait basculer le levier F d'une quantité suffisante pour que, cédant à l'action de leurs ressorts, la potence et le cliquet s'abaissent et rendent ainsi le disque D solidaire de l'axe B ; lorsque l'armature est ramenée au contact, soit à la main, soit par l'action de la came Ca , le manchon a est de nouveau reculé vers le rochet et le désembrayage a lieu.

En résumé, le cliquet suit exactement les mouvements de l'armature. Il reste à voir comment sa chute peut avoir lieu au point voulu et la série d'actions mécaniques qui en résultent.

(*A suivre.*)

F. GODFROY.

Espace
réservé à
la décharge





TÉLÉGRAPHE MULTIPLE DELANY

1. Le système de télégraphe multiple Delany est basé sur deux principes connus : le premier consiste à établir un mouvement de rotation synchronique entre deux pièces mobiles semblables placées en deux endroits différents; le second, à donner successivement l'usage du fil à plusieurs télégraphistes pendant de très courtes périodes de temps égales entre elles, en sorte que chaque télégraphiste a réellement la ligne à sa disposition pendant ces intervalles.

Cette combinaison des deux principes énoncés a été mise en pratique par Meyer en 1873, et a été employée par Baudot en 1881 (*); le synchronisme a été perfectionné par Delany en 1882, et son système entièrement constitué en 1884.

2. Comme le système Delany diffère notablement de ceux qui sont connus sous le nom de « duplex » et de « quadruplex », nous proposons, pour plus de clarté,

(*) Nous rappelons ici que M. Sieur a décrit, dans les *Annales télégraphiques* (janvier-février 1878), un système de télégraphie double fondé sur l'emploi d'un distributeur ou inverseur automatique divisant le temps en intervalles égaux (1/40^e de seconde par exemple), successivement occupés par des courants de sens contraires. Ces courants sont recueillis séparément à l'arrivée par des relais polarisés. Dans chacun des relais, le courant utile, quoique interrompu tous les quarantièmes de seconde, produit le même effet qu'un courant continu pour la transmission des signaux Morse. M. Delany a utilisé cette propriété dans son appareil; on verra ci-après le dispositif qu'il a imaginé à cet effet. (Rédaction des *Annales télégraphiques*.)

de désigner ses divers modes d'emploi par des noms formés au moyen du mot grec *ὁδος* (voie).

En conséquence, l'emploi de deux voies, ou le dispositif qui permet d'envoyer deux transmissions simultanément sera le « diode »; avec trois voies on aura le « triode », avec quatre le « tétrade », avec cinq le « penthode » et avec six l'« hexode ».

Les termes de « duplex » et de « quadruplex » sont bien connus et servent à désigner des modes particuliers de travail fondés sur l'emploi des dispositifs compensateurs, en sorte que l'emploi de ces mots pour désigner un système qui repose sur un principe entièrement différent pourrait donner lieu à quelque confusion, tandis que des termes nouveaux et spéciaux attireront l'attention sur un système nouveau et spécial.

3. A et B sont deux postes distincts réunis par une ligne L.

Si les bras *a* et *a'* reliés métalliquement à la ligne L, en chacun des points A et B, sont animés d'un mouvement de rotation simultané autour des centres des cercles 1, 2, 3, 4, dont ils forment un rayon, et se mettent en contact métallique avec les secteurs sur lesquels ils passent; lorsque *a* sera sur le secteur 1, *a'* sera également sur le secteur 1, et de même

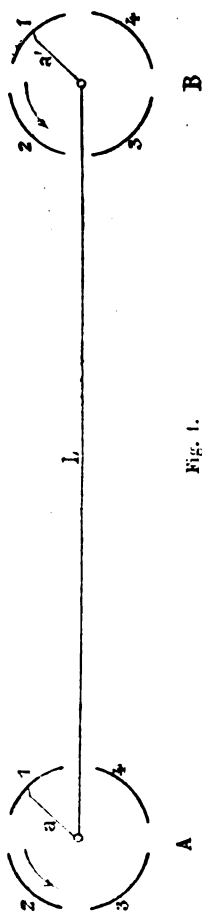


Fig. 1.

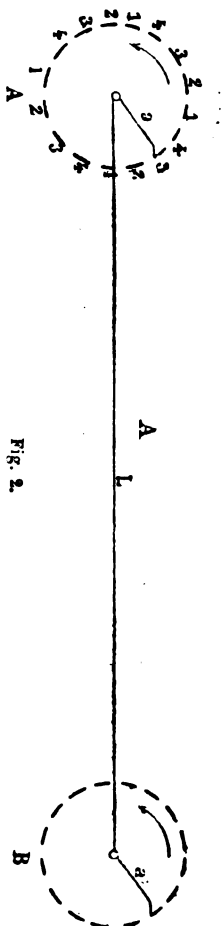
la correspondance subsistera pour les secteurs A_1 et B_1 , A_2 et B_2 , A_3 et B_3 , A_4 et B_4 .

Si dans chaque poste, 1, 2, 3 et 4 sont reliés chacun à un appareil télégraphique, les quatre appareils du poste seront en communication directe avec les quatre appareils correspondants pendant la durée des contacts donnés par les bras a et a' . Donc, à chaque révolution du chariot mobile, les appareils A_i et B_i seront mis, pendant une fraction du temps, à leur tour en communication, il en sera de même pour A_2 et B_2 , et ainsi de suite pour les autres.

4. Si chacun des secteurs est subdivisé en quatre et relié ainsi à quatre appareils au lieu d'un seul (*fig. 2*), alors, pendant la durée d'une révolution complète, chaque chariot mettra quatre fois en communication les appareils correspondants.

Ou encore, si chaque cercle est divisé en quarante secteurs, et chacun des quarante secteurs subdivisé en quatre secteurs égaux, on réalisera quarante communications directes entre les appareils pendant une seule des révolutions des chariots a et a' .

L'appareil Delany comporte quatre-vingt quatre secteurs groupés de différentes manières suivant le nombre des appa-



reils à desservir. L'hexode demande un groupement, le triode un autre, le diode un autre, et ainsi de suite.

5. Deux diapasons donnant exactement la même note et mis en vibration par des courants comme une sonnerie trembleuse électrique, auront des mouvements synchroniques ; mais le synchronisme ne peut pas être

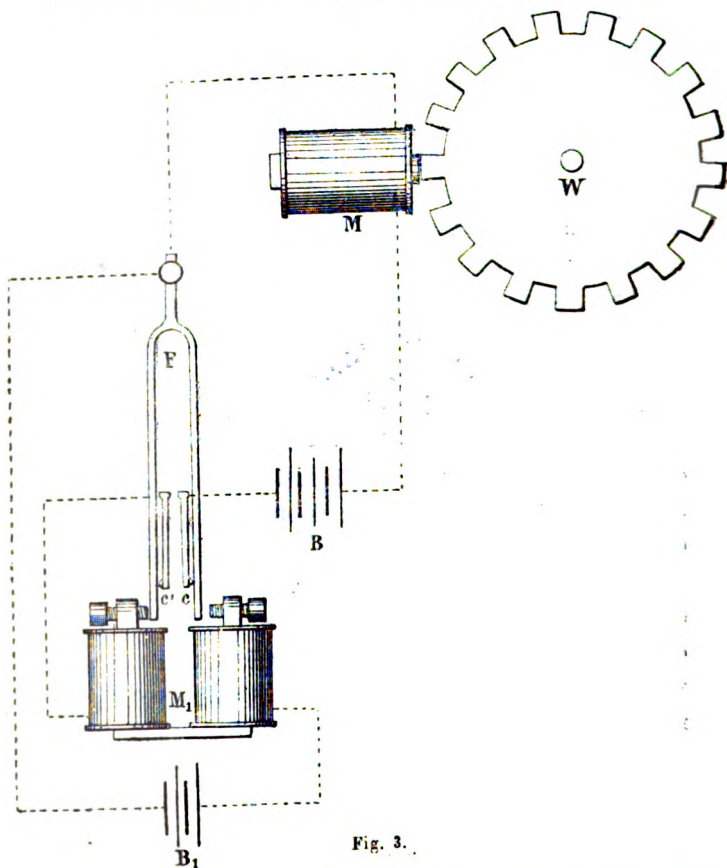


Fig. 3.

maintenu indéfiniment. La saleté, la poussière, l'humidité, les changements de température, les variations





d'intensité du courant, produisent des variations qui affectent le mode de vibration.

Paul La Cour, de Copenhague, a inventé un ingénieux procédé pour maintenir le synchronisme.

F est un diapason vibrant entre les pôles de l'aimant M_1 . En C et C' sont deux contacts. Le contact C ferme le circuit de la pile B et d'un électro-aimant M. L'autre contact C' ferme le circuit de la pile B, et de l'électro-aimant M_1 .

Chaque fois que le diapason touche le contact C, un courant traverse l'électro-aimant M, qui, en conséquence, s'aimante une fois à chaque va-et-vient du diapason. En face de l'aimant M est une roue W portant des dents en fer, et chaque fois que l'électro-aimant M est actionné, une attraction passagère s'exerce sur la dent la plus voisine. Si la dent est en train de s'approcher du pôle, elle est attirée en avant; si, au contraire, elle s'en éloigne, l'attraction du pôle magnétique la retient. La roue dentée est ainsi actionnée avec une merveilleuse uniformité et une force considérable. L'électro-aimant M_1 est actionné d'une manière analogue et maintient le diapason dans un état vibratoire constant. La « roue phonique » ainsi qu'on l'appelle, est employée par Delany conjointement avec un distributeur; mais il a adopté une lame vibrante au lieu d'un diapason.

6. Le distributeur disposé pour la communication sextuple est représenté dans la *fig. 4*.

La circonférence est divisée en six groupes, dont chacun présente douze contacts en cuivre platiné isolés les uns des autres et séparés du groupe voisin par les deux contacts dits « de correction », dont l'un distingué par des hachures est dit « contact auxiliaire »,

et l'autre figuré en B ou en C « contact de travail. » Les contacts ne sont pas seulement isolés les uns des autres, mais encore séparés par les prolongements de la platine A qui est reliée à la terre.

Chaque groupe de douze contacts est en outre divisé en deux groupes secondaires de six dans lesquels les contacts du même ordre sont reliés, en sorte que les deux contacts marqués 1, 2, 3,... sont reliés électriquement l'un à l'autre.

Ils sont en outre reliés à tous les contacts analogues de tous les autres groupes. Sur la *fig. 4* on n'a numéroté les contacts que sur deux des groupes secondaires; mais il est entendu que le même numérotage existe pour les dix autres groupes semblables. Les douze contacts portant le n° 1 sont reliés électriquement à l'appareil télégraphique n° 1; les douze contacts portant le n° 2 sont reliés à l'appareil n° 2, et ainsi de suite.

Les premier, troisième et cinquième contacts de correction dits contacts « de travail » sont reliés entre eux, de même que les deuxième, quatrième et sixième contacts; mais les trois premiers sont destinés à recevoir des courants du poste correspondant, tandis que les autres sont reliés à une pile B dont ils envoient les courants à la station correspondante.

Les contacts « auxiliaires » sont disposés de manière à agir les uns avant chacun des contacts correcteurs de réception; les autres après chacun des contacts d'émission.

Les contacts de correction sont reliés comme il a été dit ci-dessus, pour les lignes dont la capacité électrostatique est faible et sur lesquelles les courants ne sont retardés que dans une proportion négligeable;

mais lorsque la capacité est considérable, les contacts auxiliaires entrent en action. La pile qui envoie sur la ligne les courants de correction est reliée aux contacts auxiliaires qui précèdent immédiatement les contacts C, et le relais qui reçoit à l'arrivée les courants correcteurs est relié au contact auxiliaire qui suit immédiatement le contact de travail figuré en B. Cette disposition permet d'attribuer la largeur d'un contact au retard du courant lorsque la capacité de la ligne dépasse 3 microfarads. Lorsque la capacité est inférieure à ce chiffre, il n'est pas nécessaire de ménager cet intervalle; ce serait même plutôt désavantageux, à cause de la petitesse de la perte de temps correspondant à la transmission du signal. Le contact correcteur à la réception est seulement élargi de manière à rencontrer le chariot mobile et à recevoir ainsi le courant presque à l'instant où il est envoyé. Il ne serait pas nécessaire, à vrai dire, d'élargir ce contact, il suffirait de le déplacer dans le sens voulu; on ne le fait plus large que pour éviter d'avoir à régler sa position.

Le chariot glisse légèrement sur la platine et, dans son mouvement circulaire continu, touche successivement chacun des contacts disposés sur la circonférence. Il tourne en sens inverse des aiguilles d'une montre. Il est relié métalliquement au fil de ligne L. A chaque révolution il donne quatre-vingt-quatre courants, dont soixante-douze servent pour les transmissions télégraphiques, tandis que les autres sont employés à conserver le synchronisme.

Le rôle du chariot est de mettre le fil de ligne tour à tour en relation avec les contacts des différents groupes. Les courants électriques qui circulent sur la ligne dépendent de la manipulation des différents appa-

reils, et forment une succession de pulsations ou d'émissions extrêmement rapides correspondant aux contacts très courts donnés par le bras mobile.

L'uniformité du mouvement de rotation de cette pièce est obtenue au moyen de la roue de La Cour, figurée ci-dessus (*fig. 3*).

7. La *fig. 5* montre la combinaison de la roue de La Cour et des organes moteurs, correcteurs et régulateurs de l'appareil Delany. La roue à dents en fer A est placée devant les pôles d'un électro-aimant D qui est actionné périodiquement et régulièrement par les courants d'une pile B', envoyés à chaque contact de la lame vibrante E' avec H'. On obtient ainsi une grande régularité dans la propulsion de la roue dentée dont l'axe porte le chariot T.

La propulsion s'exerce quand la roue est en C, et cesse quand elle est en C' (voir *fig. 6*).

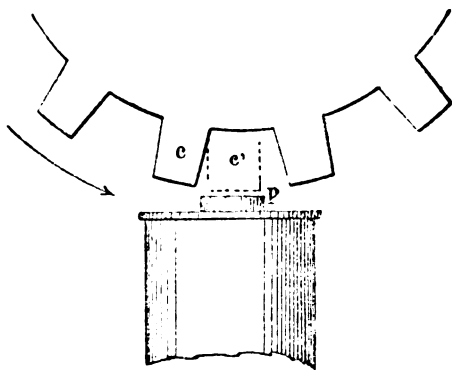
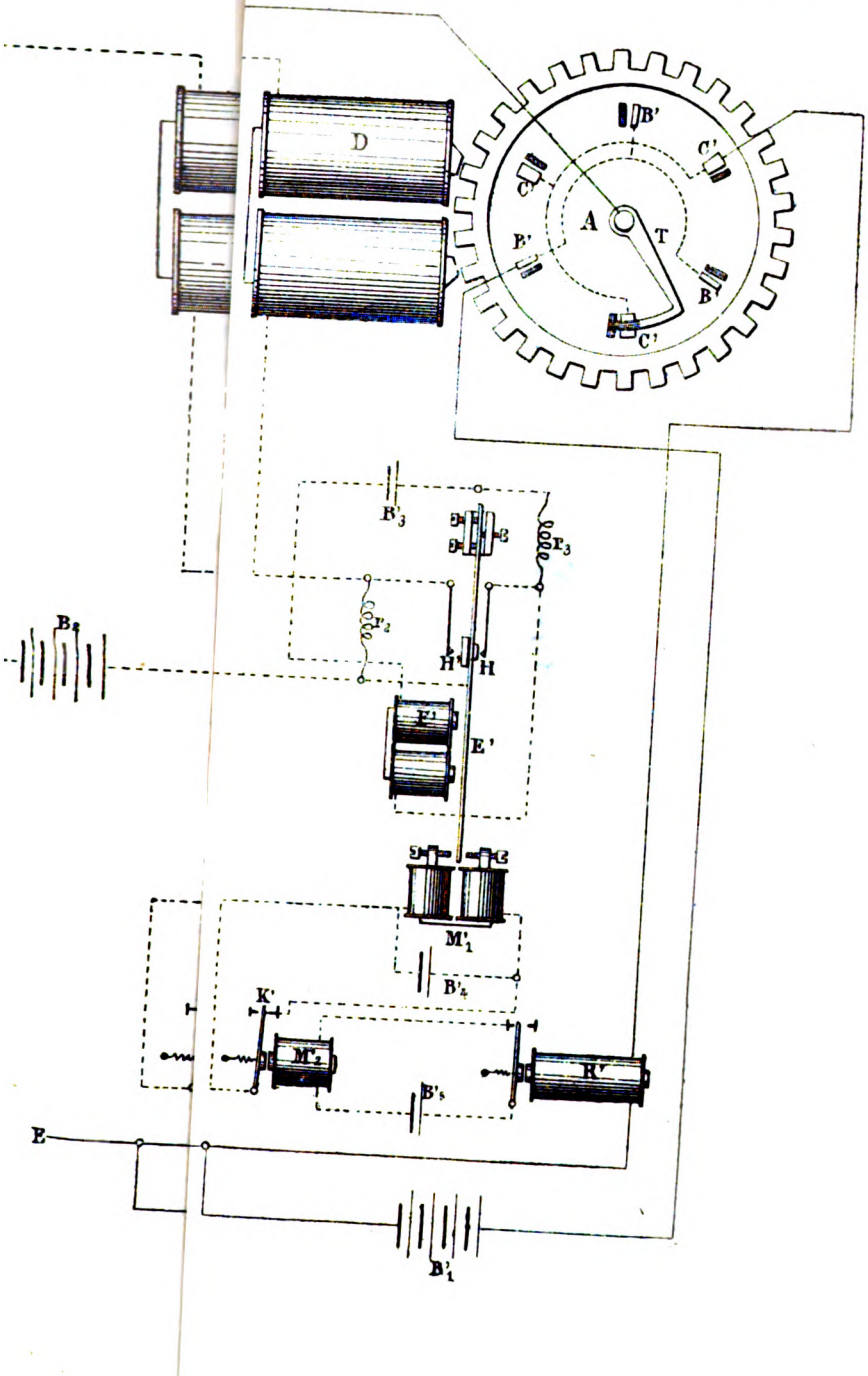


Fig. 6.

L'inertie l'entraîne jusqu'au moment où la dent suivante vient en C, et où une nouvelle propulsion peut s'exercer. L'aimentation doit durer pendant que la dent



reils, et forment une succession de pulsations ou d'émissions extrêmement rapides correspondant aux contacts très courts donnés par le bras mobile.

L'uniformité du mouvement de rotation de cette pièce est obtenue au moyen de la roue de La Cour, figurée ci-dessus (*fig. 3*).

7. La *fig. 5* montre la combinaison de la roue de La Cour et des organes moteurs, correcteurs et régulateurs de l'appareil Delany. La roue à dents en fer A est placée devant les pôles d'un électro-aimant D qui est actionné périodiquement et régulièrement par les courants d'une pile B', envoyés à chaque contact de la lame vibrante E' avec H'. On obtient ainsi une grande régularité dans la propulsion de la roue dentée dont l'axe porte le chariot T.

La propulsion s'exerce quand la roue est en C, et cesse quand elle est en C' (voir *fig. 6*).

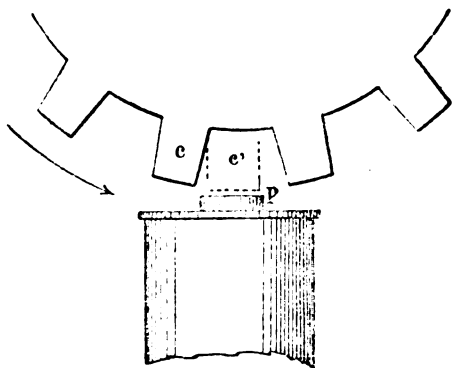
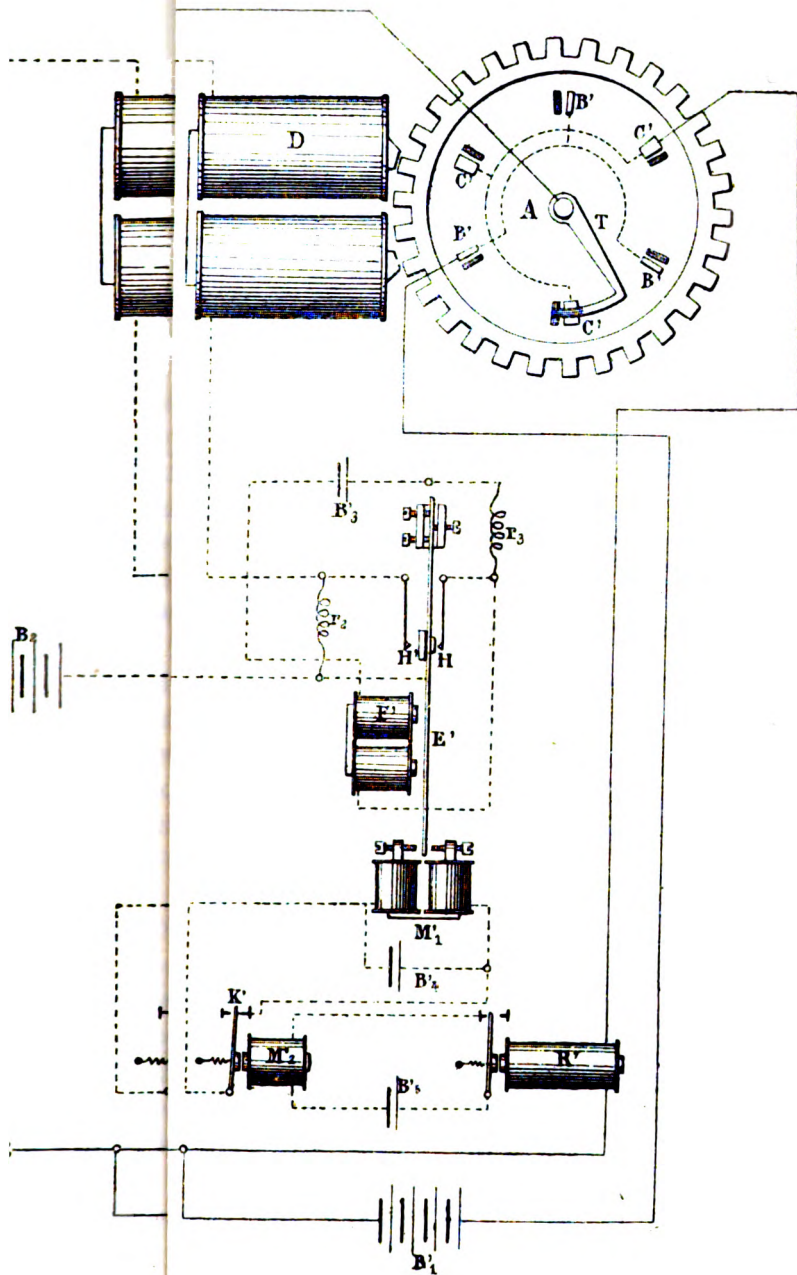


Fig. 6.

L'inertie l'entraîne jusqu'au moment où la dent suivante vient en C, et où une nouvelle propulsion peut s'exercer. L'alimentation doit durer pendant que la dent





se déplace de C en C' ; si elle se continuait plus longtemps, elle aurait pour effet de retarder le mouvement de la roue.

Les courants étant émis par les vibrations d'une lame, le mouvement de la roue doit se régler exactement sur les vibrations de cette lame.

Des résistances r_1 et r_2 (fig. 5) sont placées en dérivation sur les circuits des contacts H et H' pour prévenir les étincelles.

Les vibrations de la lame sont entretenues par l'électro-aimant F' actionné par la pile B', à chaque contact qui se produit en H.

L'extrémité de la lame E' vibre entre les prolongements des extrémités polaires de l'électro-aimant M',, et, par suite, elle vibre dans un champ magnétique. Cet électro est actionné par la pile B', dont le circuit se rompt en K', et ce contact K' cesse d'avoir lieu lorsque le courant d'une pile B', cesse de passer dans l'électro-aimant M',.

Ce résultat est obtenu par le relais R' qui est actionné par des courants reçus du poste correspondant par l'intermédiaire des contacts correcteurs « de travail », placés sur le « distributeur », et qui aimantant le relais R', ont pour effet de rompre le courant local qui traverse M',.

Lorsque l'aimant M', est actionné, le champ magnétique dans lequel vibre la lame de fer tend, par suite de l'attraction qu'il exerce, à retarder la période de sa vibration, en sorte que si les vibrations sont trop fréquentes elles peuvent ainsi être ralenties.

La période normale de vibration peut être réglée par un poids qui glisse ou par plusieurs autres procédés non indiqués sur la figure.

8. Le montage de chacun des postes est indiqué sur la fig. 7.

On a figuré une partie d'un groupe de contacts du distributeur à chacune des stations, et les chariots commutent avec des contacts correspondants, d'où le courant se rend aux appareils télégraphiques. Ceux-ci ne présentent rien de particulier (le plus usité est le parleur Morse), sauf en ce qui concerne le relais R qui a été disposé de manière à être paresseux, afin que la succession rapide de courants envoyés par le distributeur produise en réalité une attraction continue de l'armature du relais. Les courants émis sur le fil de ligne sont des impulsions courtes et rapides ou des flux d'électricité, et pour transformer ces ondes élec-

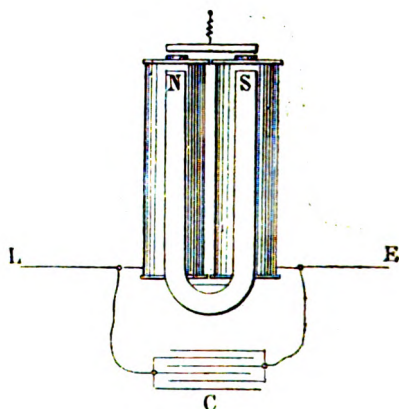
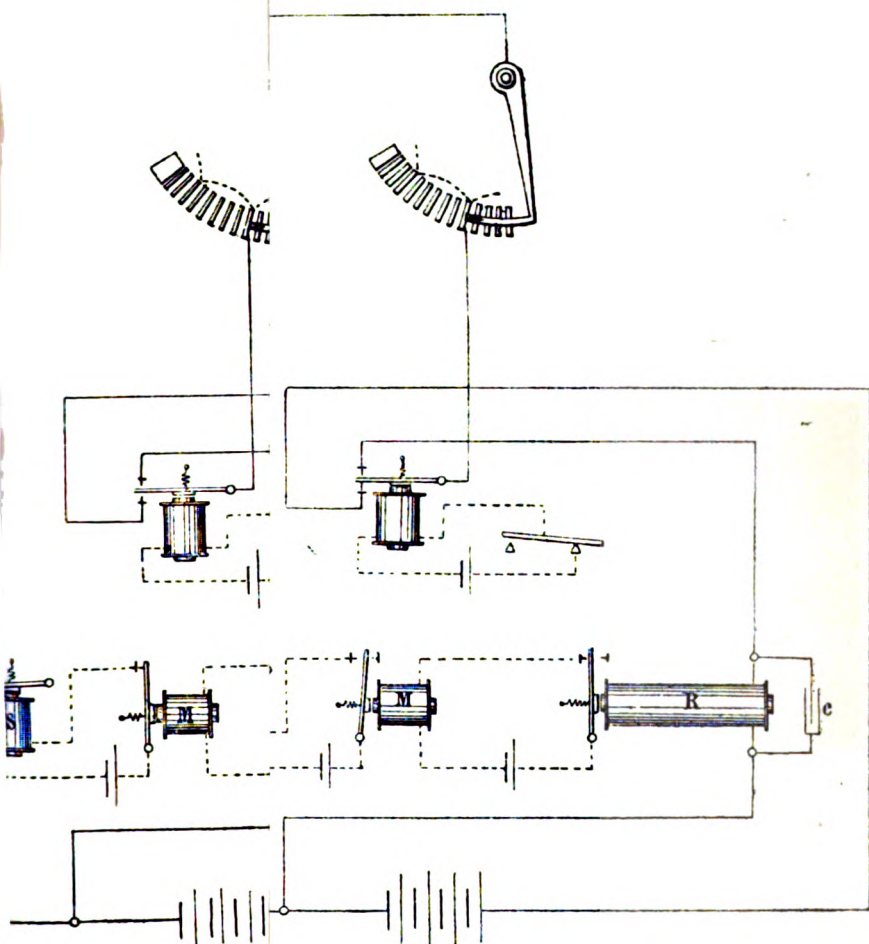


Fig. 8.

triques successives en signaux télégraphiques tels que les signaux Morse, par exemple, il faut trouver un dispositif qui les rende continus, pendant la durée d'un point ou d'un trait. Le relais porte un condensateur en C (fig. 8) et un aimant permanent en fer à cheval



8. Le montage de chacun des postes est indiqué sur la *fig. 7*.

On a figuré une partie d'un groupe de contacts du distributeur à chacune des stations, et les chariots communiquent avec des contacts correspondants, d'où le courant se rend aux appareils télégraphiques. Ceux-ci ne présentent rien de particulier (le plus usité est le parleur Morse), sauf en ce qui concerne le relais R qui a été disposé de manière à être paresseux, afin que la succession rapide de courants envoyés par le distributeur produise en réalité une attraction continue de l'armature du relais. Les courants émis sur le fil de ligne sont des impulsions courtes et rapides ou des flux d'électricité, et pour transformer ces ondes élec-

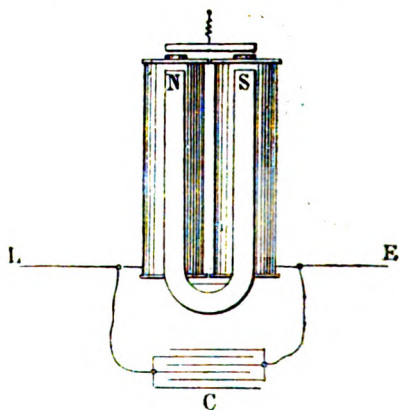
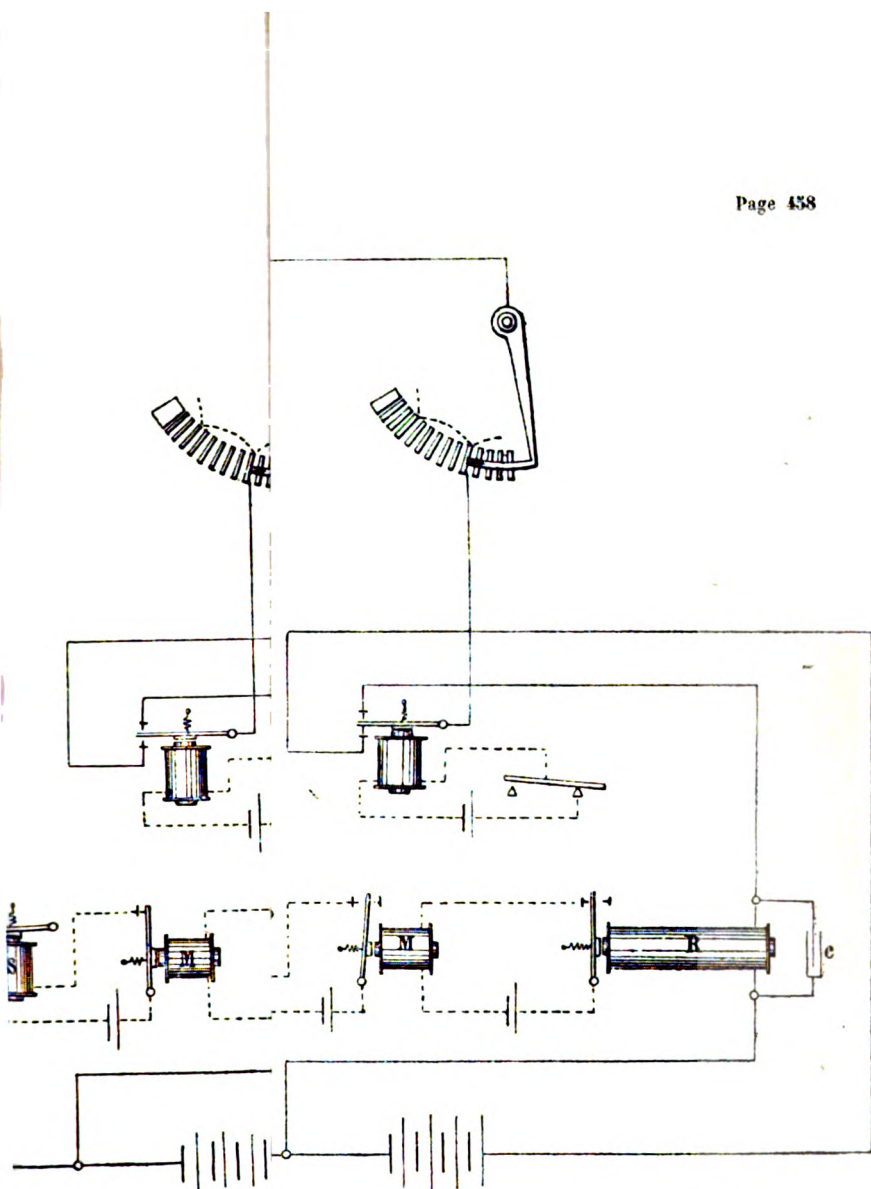


Fig. 8.

triques successives en signaux télégraphiques tels que les signaux Morse, par exemple, il faut trouver un dispositif qui les rende continus, pendant la durée d'un point ou d'un trait. Le relais porte un condensateur en C (*fig. 8*) et un aimant permanent en fer à cheval





(NS) est fixé à l'intérieur des noyaux. Les spires sont donc polarisées.

Il en résulte que la self induction des noyaux, jointe à l'effet du condensateur, retarde la cessation de l'aimantation des spires, en sorte que les courants qui se succèdent rapidement produisent un effet d'attraction continu sur l'armature, et les signaux se produisent comme s'ils étaient dus à des courants continus.

Il n'y a donc pas de discontinuité dans l'impression des points ou des traits.

Le relais R (*fig. 7*) actionne un relais M qui agit à son tour sur le parleur S.

Cette disposition a été adoptée parce que le mode ordinaire de fermeture du circuit local est trop lent, et les contacts ne sont pas assez sûrs. Nous avons fait remarquer aussi que chaque contact du distributeur est séparé des contacts voisins par une mise à la terre prise sur un prolongement de la platine en cuivre. On favorise ainsi la décharge à la terre de la charge envoyée sur la ligne à chaque émission de courant.

Les appareils étant ainsi disposés, six couples de télégraphistes correspondants sont mis en communication et chaque couple a en quelque sorte l'usage exclusif du fil.

On remarquera que sur la *fig. 5* on n'a représenté que les contacts correcteurs « de travail » et les contacts auxiliaire. Ceux des contacts de travail qui sont reliés à la pile sont de la largeur ordinaire, tandis que ceux qui sont reliés aux appareils de correction sont plus larges. C'est pour le cas où la correction se ferait avant que les contacts en jeu ne soient actionnés. On prévient ainsi tout défaut de synchronisme.

Lorsque le chariot du poste A est sur le contact

étroit, celui de la station B est sur le contact large ou près de l'atteindre. Si les mouvements de rotation sont parfaitement synchrones, le chariot de B est sur le contact auxiliaire, lorsqu'en A il est sur un des contacts de travail consacrés à l'émission, et vice versâ; en conséquence, il ne passe aucun courant; mais lorsque la roue en B est en avance sur A, si peu que ce soit, le chariot de B se trouve sur le contact de travail récepteur, le courant passe, il actionne le relais R', l'électro M', entre en action, un champ magnétique se forme et la vibration de la tige E' se trouve ainsi retardée. Le synchronisme redevient parfait et les courants correcteurs cessent d'être émis. Six de ces courants peuvent être émis à chaque tour, trois dans un sens, trois dans l'autre. Il est ainsi facile de rectifier une discordance de 1 millième de pouce.

Ce procédé de M. Delany est parfaitement automatique dans son action et conserve le synchronisme avec une précision qui n'avait jamais été atteinte précédemment. On avait fait des tentatives pour obtenir le synchronisme par l'envoi de courants correcteurs dans un seul sens, en appliquant la correction aux pièces mobiles, par des procédés mécaniques. Baudot a employé dans ce but une tige à frottement, mais il n'a pas réussi dans la pratique, tandis que la méthode Delany est pratique et facilement applicable.

Le « distributeur » fait environ trois tours par seconde, d'où il résulte que pour l'appareil sextuple, 252 contacts sont donnés par seconde.

La distance à laquelle on peut employer l'appareil sextuple est limitée parce que vu l'effet du retard dû à la capacité électrostatique de la ligne, le nombre des courants que l'on peut émettre dans une seconde est

limité lui-même. En effet, comme la capacité électrostatique de la ligne a pour effet de retarder la vitesse de transmission du courant, il s'ensuit que la limite d'action de l'appareil dépend de la valeur de cette capacité, car, si le courant est retardé, il entrera dans les contacts auxquels il n'est pas destiné et il en résultera une confusion dans les signaux.

Cet effet nuisible de la capacité peut être corrigé en constituant chaque groupe avec un plus grand nombre de contacts ou en donnant à ceux-ci une plus grande largeur, mais cela revient à diminuer le nombre de postes desservis. Par exemple, l'appareil sextuple serait réduit en quadruple ou même en triple.

Jusqu'ici, il est bien entendu que le système a été décrit en vue de correspondre dans les deux sens (non simultanément, comme dans le duplex, mais successivement), comme un système de transmission simple. Cependant, si on le considère comme un système de transmission dans un seul sens, il ne se comporte pas de même au point de vue de la distance.

Si la capacité électrostatique réduit la vitesse de propagation du courant de telle sorte qu'au moment où il quitte le contact 1 à la station A, il entre dans le contact 2 à la station B, il est encore possible d'envoyer cinq transmissions dans le même sens, car il en résulte pour chacun des contacts une avance d'une place. Pour ce mode de transmission, deux fils sont nécessaires : l'un, pour transmettre, l'autre, pour recevoir ; mais il a cet avantage que deux fils peuvent servir à former dix circuits.

Le sixième contact est rendu inutile parce que les courants qu'il émet arrivent en B lorsque le chariot est sur le contact de correction. Pour l'échange des

transmissions dans les deux sens, le sextuple est réalisable entre Londres et Brighton, mais sur Bristol et Manchester on ne peut aller qu'en quadruple. Toutefois, en transmettant dans un sens sur Bristol et Manchester, on a même pu travailler en sextuple, en sorte qu'avec deux fils on a échangé douze transmissions, six dans chaque sens.

Le grand avantage de ce système est de ne pas modifier le mode général de transmission adopté dans le pays. L'emploi du parleur est maintenu ; le manipulateur est conservé ; toute préparation préliminaire des télégrammes est évitée ; l'habileté des télégraphistes expérimentés est entièrement utilisée. Chaque télégraphiste a un circuit indépendant et est ainsi dispensé d'attendre un coopérateur paresseux comme dans le quadruplex. Lorsqu'il y a un « coup de feu » sur une direction, le système peut être utilisée tout entier sur cette direction et non pas seulement par moitié comme dans le quadruplex. D'ailleurs le système n'en est encore qu'à ses débuts, et il n'est pas douteux qu'une plus longue expérience ne conduise à de nouveaux perfectionnements.

W. H. PREECE.

(Traduit du *Bulletin de la Society of telegraph Engineers*,
n° 61, 1880, par M. Belugou.)

NOUVEAU SYSTÈME

POUR

L'INTERCOMMUNICATION DES TRAINS EN MARCHÉ

Le block system, tel qu'il est actuellement appliqué, consiste à peu près exclusivement en des appareils de signaux optiques manœuvrés par des agents de la voie, et qui indiquent aux mécaniciens, dont ils frappent la vue, s'ils doivent continuer leur route ou s'arrêter.

La plupart des appareils, au moyen desquels on pratique ce mode de block system, sont fort ingénieux. M. Rodary, qui a publié dans les *Annales télégraphiques* une étude très complète de ces appareils, en a décrit avec beaucoup de précision plusieurs, qui paraissent réaliser toutes les conditions de bon fonctionnement, qui sont d'une manœuvre rapide, facile et sûre, qui ne laissent à l'agent chargé de les manœuvrer aucune initiative d'où pourrait résulter une erreur.

Et cependant, malgré la perfection de ces appareils, en dépit du zèle incontestable des agents qui les manœuvrent et des agents à qui s'adressent les signaux, il se produit encore sur les chemins de fer de trop nombreux accidents.

C'est parce que cette méthode de block system, qui repose entièrement sur le sens de la vue, de tous nos

sens le plus délicat, le moins précis, le plus facile aux illusions, pêche nécessairement par la base. Ce système exige que les mécaniciens, obligés déjà de surveiller les organes de leur machine, aient en même temps les yeux sans cesse fixés sur la route qu'ils parcourent.

Ce sont là deux obligations inconciliables, qui s'excluent, et dont l'opposition est grosse de dangers.

Il est vrai qu'avec le mécanicien, il y a le chauffeur, et que pendant que l'un s'occupe de la machine, l'autre peut surveiller la route. Mais chacun d'eux a sa tâche particulière dans la conduite de la locomotive ; et si, par un accord tacite, ils s'acquittent à peu près toujours de cette tâche, de telle sorte que l'un des deux puisse, à tour de rôle, avoir les yeux fixés dans la direction des postes de signaux ; comme d'une part cet accord peut être rompu par le moindre incident du service et qu'il peut arriver que pendant un moment les deux hommes cessent à la fois de surveiller la voie ; que, d'autre part, et par suite de la vitesse du train, la succession des postes du block, quelquefois fort rapprochés, est extrêmement rapide, un signal peut ne point être aperçu d'eux.

Si ce signal couvrait un train précédent, une catastrophe sera le résultat de cette faute d'un instant, faute qui était tôt ou tard inévitable, parce qu'elle devait résulter de deux obligations contradictoires dans le même service, et dont on ne pourra rendre les auteurs responsables qu'avec une grande injustice, car c'est le système qui est en défaut et non l'homme.

Il n'est même pas besoin d'un défaut involontaire de surveillance pour amener ce terrible résultat : l'excès de surveillance même peut produire la faute. Qui ne

sait en effet, pour l'avoir éprouvé, que lorsque l'on regarde avec insistance dans une direction, la vue, d'abord claire et précise, se trouble promptement, et ne perçoit plus les objets avec leur forme et leur couleur réelles. La vue peut même s'altérer momentanément au point que pendant un instant on ne voie plus rien.

Ce genre d'aberrations est fréquent, et les mécaniciens, que je sache, n'en sont point exempts. Ils peuvent donc pendant le jour, mais surtout pendant la nuit, tout en surveillant avec attention et sans interruption les postes de signaux devant lesquels ils passent, ne pas apercevoir un signal, ou se tromper sur sa signification, et de là peut encore résulter un accident.

En temps de brouillards, ce danger est presque inévitable.

En supposant donc que les agents qui manœuvrent les appareils de signaux, grâce à des dispositions très ingénieuses, ne puissent jamais commettre d'erreur, même dans ce cas, le block system basé sur le principe de la communication optique entre des agents en terre ferme et les mécaniciens, au moyen de signaux essentiellement fugitifs, ne saurait offrir des garanties de sécurité suffisantes.

Combien préférable, je crois, serait le système qui, par une communication permanente et sûre établie au moyen de l'électricité, entre les trains mêmes parcourant les voies de fer, maintiendrait automatiquement entre ces trains une distance minima qu'aucune faute des agents ne pourrait supprimer.

Et dans quelle étonnante mesure ce système ne faciliterait-il pas tous les services de la voie et des

gares, si la communication électrique ne se bornait point aux trains entre eux, mais était établie en outre entre ces trains et la terre ferme; de telle sorte qu'aux stations, aux postes de cantonniers, aux passages à niveau, on pût suivre leur marche et connaître en toute certitude, à l'avance, le moment précis de leur passage.

Si enfin ce système avait encore pour résultat de rendre absolument sans conséquences les fautes d'aiguillages, et qu'en outre, il permit aux chefs de service en terre ferme de communiquer des ordres télégraphiques aux mécaniciens, ne répondrait-il pas à toutes les exigences?

Dans cette voie on a fait quelques tentatives, mais bornées seulement à quelqu'une des données du problème.

On a notamment, au moyen de l'avertisseur électro-automatique connu sous le nom de *crocodile*, établi en certains points, une communication électrique entre un train passant en ces points et la terre ferme. Cette communication, qui ne doit produire, au surplus, d'effet que dans des cas déterminés, n'a lieu que pendant le court instant où un balai métallique, adapté à la locomotive, se trouve en contact avec une plaque de cuivre installée dans l'axe de la voie.

La difficulté (difficulté qui résulte de la vitesse du train) d'assurer la fermeture du circuit au moyen du frottement du balai sur la plaque de cuivre, constitue le vice principal de cet appareil.

La même difficulté s'est manifestée lorsqu'on a voulu se servir des deux rails comme conducteurs. Les deux rails, du reste, ne constituent qu'un seul circuit, et l'on ne saurait donc, par leur moyen, pas plus qu'au moyen

du crocodile, établir un block system électro-automatique, qui exige au moins trois fils.

Quant aux pédales, de systèmes divers, qui au moment où un train les actionne, signalent à distance le passage de ce train, le lieu où il se trouve, elles présentent de très nombreux inconvénients, dont les principaux résident dans leur fragilité, mais surtout dans leur facilité à transmettre des signaux intempestifs, le pied d'un ouvrier ou d'un malveillant quelconque suffisant pour les actionner.

Les pédales qui signalent un train à distance, le crocodile, au moyen duquel un train se couvre lui-même électro-automatiquement contre un autre train qui le suit, l'emploi des rails comme conducteurs, établissant une communication électrique entre les trains et la terre ferme, tous ces moyens ne sauraient être considérés que comme des tentatives vers un but qu'ils n'atteignent que dans une mesure bien insuffisante, et d'une manière fort imparfaite et peu sûre.

Ce but serait-il atteint par l'invention d'Edison, récemment annoncée, et qui paraît promettre la possibilité de faire passer un courant électrique d'un train en marche aux fils télégraphiques qui courent le long de la voie, supportés par des poteaux; transmission s'opérant, en dépit d'une distance de plusieurs mètres, et sans contact, au travers de l'air?

Sans contester la réalité de cette invention, je crois qu'il est permis de douter qu'elle puisse, du moins dans les termes où on l'a annoncée, réaliser le problème posé et qui consiste, je le répète, à donner à un train en mouvement un moyen sûr :

1° De se couvrir automatiquement, et sans l'inter-

vention des agents en terre ferme, contre un autre train qui le suit;

2° D'être couvert lui-même contre un train qui le précède;

3° D'indiquer à distance et d'une manière sûre, régulière, continue et automatique, le point où il se trouve, sa vitesse, et partant le moment de son passage aux lieux où on l'attend;

4° D'échanger avec les trains qui parcourent la même voie, et aussi avec la terre ferme des télégrammes de tout genre;

5° D'être absolument couvert contre une faute d'aiguillage, etc., etc.

Pour tous ces services, il faut plusieurs courants continus et partant une certaine multiplicité de câbles. Or, dans le cas où ces câbles seraient les fils mêmes supportés par les poteaux télégraphiques, et en supposant qu'un mécanisme, dans le train, puisse influencer un de ces fils, en dépit de la distance, de manière à y faire naître un courant, par quelle grâce d'état cette influence s'exerçant ainsi, à travers l'espace, saurait-elle faire un choix parmi plusieurs fils mis à sa portée, et s'exercer sans erreur sur le câble voulu? En tous cas, il faut des courants continus, et le système d'Edison, je crois, ne saurait exister avec ce genre de courants.

Pas plus que les autres, le moyen d'Edison, autant du moins qu'on le connaît par les descriptions sommaires qui en ont été données, ne paraît résoudre le problème. Pour qu'il soit résolu, il est nécessaire que les trains en mouvement puissent lancer dans les directions voulues, et recevoir de même, des courants continus multiples, au moyen de conducteurs avec les-

quels ils soient constamment en communication, grâce à des contacts qui, quoique mobiles, soient cependant permanents, continus et assurés.

Cette nécessité de maintenir une communication permanente et sûre entre les trains en mouvement et un certain nombre de conducteurs fixes, au moyen de contacts glissant sur les conducteurs, constitue la principale difficulté à résoudre. A cette difficulté vient s'ajouter celle d'établir les conducteurs le long de la voie de manière à ne gêner en rien les divers services de l'exploitation, et de telle sorte qu'on puisse faire toutes les réfections de la voie, sans que les transmissions électriques puissent jamais, de ce fait, être interrompues.

Je crois qu'un moyen, que j'ai proposé dans un brevet pris il y a quatre ans, résout pleinement ces difficultés. D'abord, dans ma pensée, ce moyen devait servir à transporter d'une usine fixe à un train en mouvement un courant assez puissant pour produire lui-même le mouvement du train; car je croyais et je crois plus que jamais à la traction économique des trains par l'électricité. — Mais je ne tardai pas à m'apercevoir que ce moyen, se prêtant à l'établissement de conducteurs multiples, pouvait en outre permettre de remplacer par un système de block automatique le block system actuel, et en même temps assurer la transmission de courants divers, grâce auxquels on pourrait satisfaire à de nombreuses nécessités dans l'exploitation générale des chemins de fer.

Je vais exposer ce moyen, me bornant à décrire les dispositions qui permettent l'établissement de plusieurs conducteurs avec lesquels les fils venant de l'intérieur du train puissent être en contact permanent,

quoique ce contact soit mobile. Quant aux appareils utilisant les courants transmis, il en existe des types nombreux, répondant à tous les besoins, et qu'il est inutile de décrire ici.

ÉTABLISSEMENT DES CABLES

Entre les deux voies, dans le cas de double voie, ou sur l'un des côtés, dans le cas de voie unique, je creuse un fossé rectangulaire parallèle à la voie et qui la suit dans toute sa longueur.

Dans ce fossé, je pose de distance en distance, de mètre en mètre, par exemple, des châssis ou cadres aussi rectangulaires, dont le côté supérieur est partagé par une fente de trois à quatre centimètres de largeur (*fig. 1*).

Ces cadres sont destinés à supporter les conducteurs, fixés intérieurement de chaque côté de la fente. Les conducteurs (dont le nombre est de six dans le dessin, mais qui pourraient être plus ou moins nombreux, suivant les besoins) sont soigneusement isolés les uns des autres, d'abord par la manière dont ils sont fixés après les cadres, et puis, en dehors des cadres, par la légère distance qui les sépare et qui se maintient exactement, les conducteurs étant des tringles rigides.

Ces six conducteurs, ajustés aux cadres qui les supportent, se présentent comme une grille continue suivant toute la longueur de la voie.

Chaque conducteur est constitué par une tige métallique en cornière, dont l'arête est tangente au côté du cadre auquel elle est fixée, et dont l'intérieur de l'an-

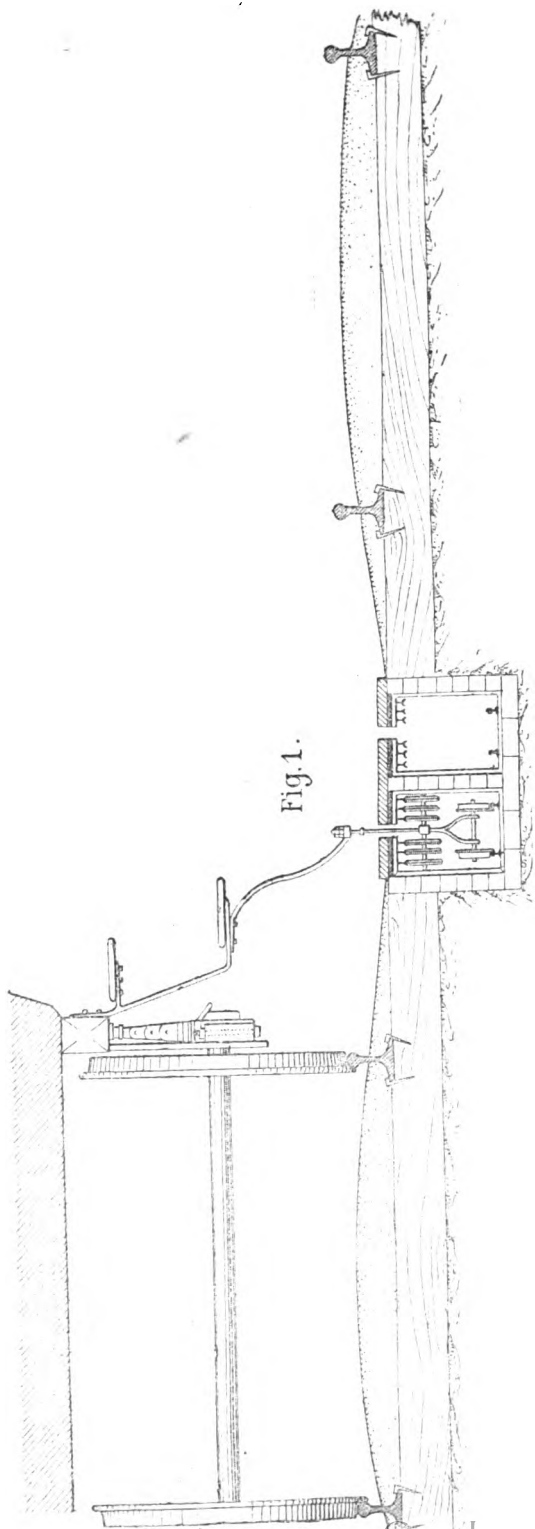
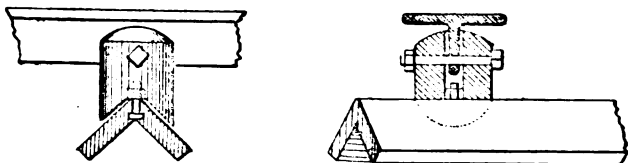


Fig. 1.

gle est opposé à la base du conduit (*fig. 2*). Cette forme des conducteurs a l'avantage de leur donner plus de rigidité, avec une plus petite quantité de métal, et en outre de présenter une rainure utile à la permanence et à la sûreté des contacts, pour les prises de courants.

Fig. 2.



A la base du conduit, et reposant sur le côté des cadres opposé à celui qui supporte les conducteurs, je fais reposer deux petits rails, qui constituent une petite voie dans le conduit.

Le tout est recouvert d'un plancher reposant sur les cadres, mais laissant subsister la fente longitudinale par laquelle le conduit communique avec l'extérieur.

Dans ce conduit roule un petit chariot. Ce chariot se compose essentiellement d'une caisse munie de galets en dessus et en dessous. Les galets de dessous roulent sur les deux rails; quant aux galets de dessus ils sont biseautés suivant une arête qui s'adapte exactement dans l'angle des conducteurs-cornières. — La caisse du chariot étant montée sur les galets de dessous de façon à ce que des ressorts lui impriment une certaine élasticité de bas en haut, il est évident qu'avec cette disposition, le chariot sera exactement maintenu dans la route qu'il doit suivre, guidé à la fois par les rails et par les conducteurs eux-mêmes.

Et cette tension de bas en haut aura, en outre, pour effet d'assurer le contact continu des galets supérieurs contre les conducteurs.

Ces galets, en nombre au moins égal à celui des câbles, sont montés de manière à être soigneusement isolés les uns des autres. Ils peuvent aussi être munis eux-mêmes de ressorts qui leur impriment un mouvement propre de bas en haut, afin que leur contact sur les conducteurs soit bien assuré.

L'électricité qu'ils recueillent passe, au moyen de petits balais avec lesquels ils sont en contact, dans des fils, lesquels viennent tous se réunir, mais bien isolés, dans un câble, au centre du chariot.

Ce câble sort par la fente du conduit et vient se rattacher à l'un des véhicules du train.

Les courants lancés à l'adresse de ce train, et ceux qu'il émet lui-même passent donc dans ce câble à plusieurs brins, de ce câble dans le chariot, et du chariot, au moyen des galets, dans les conducteurs.

Le train en marche entraîne à sa remorque le petit chariot, et les communications électriques voulues se trouvent ainsi assurées tout le long du chemin.

Je crois qu'il n'est pas nécessaire d'insister pour démontrer qu'un semblable système permettrait la transmission sûre, régulière et constante, d'un certain nombre de signaux entre deux ou plusieurs trains, et entre ces trains et la terre ferme. Il est évident que, grâce à ces dispositions, les contacts entre les galets destinés à recueillir les courants, et les conducteurs du conduit, seraient permanents, assurés qu'ils seraient et par la pression de bas en haut au moyen de laquelle les galets seraient maintenus dans l'angle des cornières, et par l'absence de toute souillure sur les con-

ducteurs, leur disposition les mettant à l'abri de toute éclaboussure. Je n'ai pas besoin de dire que l'écoulement des eaux dans le conduit doit être ménagé de manière à s'opérer promptement et régulièrement. Ce sont là des détails de construction dans lesquels il serait oiseux d'entrer.

Je n'entrerais pas davantage dans le détail des moyens qui assureront le fonctionnement du système aux changements de voie, aux embranchements; sans se dissimuler les difficultés pratiques qui pourront se présenter, je crois, après de longues réflexions sur ce sujet, pouvoir assurer qu'il n'y en aura aucune d'insoluble.

Mais je vais répondre d'avance à quelques objections qu'on ne manquera pas de faire, parce qu'elles se présentent dès l'abord naturellement à l'esprit.

Comment, pourra-t-on me dire, éviterez-vous l'échauffement des galets de votre chariot, étant données des vitesses de 80 à 100 kilomètres à l'heure?

En donnant à ces galets un diamètre suffisant pour que cet échauffement ne puisse se produire au point d'être nuisible. Le conduit devra donc avoir peut-être une hauteur de 50 à 60 centimètres environ, sur une largeur de 30 centimètres; et, sans s'arrêter aux détails du dessin qui accompagne cette description, et qui n'est qu'une figure pour ainsi dire théorique, il est facile de comprendre qu'avec cette hauteur on pourra donner aux galets de dessus et aux galets de dessous un diamètre de 40 à 45 centimètres. Ces galets, qui n'auront à supporter qu'un poids proportionnel à la tension des ressorts, poids fort réduit, par conséquent, ne sauraient donc sérieusement s'échauffer.

Mais les détritits de toute sorte, pourra-t-on dire en-

core, qui tomberont dans le conduit, n'entraveront-ils pas la marche du chariot, compromettant ainsi le fonctionnement de cet organe ?

Les détritns, qui pourront tomber d'eux-mêmes dans le conduit, ne sauraient être bien volumineux, puisqu'ils devront passer par une fente de 3 à 4 centimètres de largeur. Ce seront des pierres, des petites mottes de terre, des bâtons peut-être : il ne sera pas difficile d'établir les petits rails de manière à ce que ces objets ne viennent point s'y reposer dessus. Ils ne formeront donc pas plus obstacle au passage du chariot, qu'ils ne feraient obstacle au passage du train lui-même, s'ils étaient sur la voie, entre les rails. Quant à leur accumulation, elle ne saurait se produire, si l'on fait précéder le chariot d'un balai destiné à nettoyer le conduit, et à repousser les objets qui pourront y tomber, jusqu'à des regards établis de loin en loin, d'où les cantonniers pourront les retirer.

Quant aux obstacles que la malveillance pourrait établir, ils ne sauraient constituer une objection contre mon système. Et l'on pourrait, du reste, par des dispositions spéciales, se garantir absolument contre les conséquences d'une rupture du câble reliant le chariot au train, — rupture qui constituerait, je crois, l'unique mode d'accident résultant d'un obstacle volontaire opposé au chariot dans le conduit.

Ces diverses difficultés pourraient encore être résolues par une disposition du chariot que j'ai indiquée dans mon brevet. Par cette disposition, les rails du conduit deviendraient inutiles, car le chariot serait construit de telle sorte que les galets en contact avec les conducteurs seraient seuls dans le conduit, tandis que les galets du bas rouleraient à l'extérieur sur le

plancher. Le chariot serait alors composé de deux plateaux, l'un intérieur, l'autre extérieur au conduit, reliés par des tringles de fer, à travers la fente du conduit, et supportant l'un et l'autre, dans les conditions spéciales nécessaires, les galets qui à l'intérieur viendraient recueillir les courants électriques, et ceux qui à l'extérieur maintiendraient le chariot sur le plancher.

Cette disposition aurait l'avantage de permettre de donner au conduit une moindre hauteur et aux galets extérieurs un diamètre plus grand. Et l'on éviterait les inconvénients d'un obstacle volontaire installé dans le conduit.

EXEMPLE D'APPLICATION DE CE SYSTÈME. — PROTECTION AUTOMATIQUE DES TRAINS ENTRE EUX.

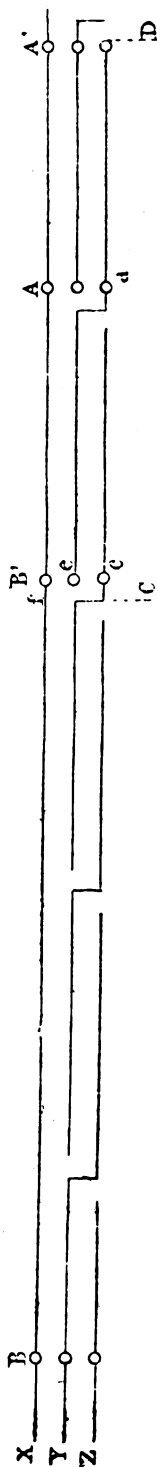
Supposons un pareil système installé sur une ligne, et que l'on veuille maintenir entre plusieurs trains qui se suivent, un intervalle minimum, de telle sorte que si un train d'arrière atteint cette limite, il soit aussitôt arrêté automatiquement.

Je crois que pour ce service trois fils suffiraient, sectionnés et disposés suivant la *fig. 3*.

Considérons donc un train A, suivi par un train B. Celui-ci, d'abord très éloigné, mais plus rapide, se rapproche progressivement. Il s'agit d'empêcher que le train B se rapproche du train A à moins de 500 mètres, par exemple. Par la combinaison indiquée *fig. 3*, on est sûr d'obtenir ce résultat.

Car lorsque le train B est devenu le train B', il est entré dans la section CD, dans laquelle se trouve encore le train A. Celui-ci envoie, au moyen du contact *d* un

Fig. 3.



courant dans le conducteur Z, lequel, sectionné en ce point, communique avec le conducteur Y. Le courant, par le contact *e*, sur le conducteur Y, pénètre dans le train B', fait fonctionner le frein à vide de ce train, qui s'arrête aussitôt, et revient, par les contacts *f* et *g*, à travers le conducteur X, à son point de départ.

Si au moment où le train B est devenu le train B', le train A eût été A', l'arrêt aurait eu lieu de même, comme il est facile de le remarquer.

Par cette combinaison, la protection entre les deux trains serait donc assurée d'une manière permanente, par le maintien entre eux d'une distance de 1.000 mètres au plus et de 500 mètres au moins, étant donné que la longueur de la section CD fût de 1.000 mètres.

Il est évident que le train B agirait à l'égard d'un train venant à sa suite, de la même manière que le train A à son égard.

Afin d'établir un contrôle qui permit aux mécaniciens de s'assurer constamment que les conducteurs sont toujours en bon état, ainsi que les appareils générateurs d'électricité, et qu'en cas de besoin, le circuit pourrait se fermer pour faire fonctionner le frein, je crois qu'on

n'aurait qu'à utiliser le conducteur Z, pour établir une communication automatique du train avec les stations, passages à niveau, postes divers en terre ferme.

Le courant qui, assez puissant pour faire fonctionner le frein, serait constamment prêt à passer au besoin dans le conducteur Y, pourrait en outre et en attendant suivre le conducteur Z du galet *d* jusqu'à son extrémité D, passer de ce conducteur à travers une résistance dans un fil télégraphique ordinaire, continuant le conducteur auquel il serait relié au point D, et revenir au pôle négatif par le conducteur X, après avoir fait fonctionner tous les appareils de signaux placés sur son parcours.

Une sonnerie sur la locomotive fonctionnant tout le temps que le courant serait fermé, mais s'arrêtant si le courant était interrompu, par exemple en cas de rupture des conducteurs, avvertirait le mécanicien.

Un système particulier permettrait d'éviter que deux trains se suivant à peu de distance transmissent en même temps leurs courants dans le même fil télégraphique. Pour atteindre ce but, il existe nombre de dispositifs qui seraient utilisés suivant les besoins.

Ces trois câbles constitueraient donc en réalité un système de block automatique constant, produisant ses effets sans l'intervention des agents, dont on n'aurait plus à redouter ni l'inadvertance, ni la maladresse.

Aux aiguilles même, l'erreur de l'agent ne pourrait pas avoir de conséquences graves. On n'aurait pour cela qu'à couvrir tous les trains qui seraient déjà ou arrêtés ou même en mouvement sur l'une quelconque des voies aboutissant à une même aiguille, au moyen de commutateurs actionnés par le mécanisme de l'aiguille, qui mettraient en communication, dans les con-

ditions nécessaires, les conducteurs de tous les conduits accompagnant ces diverses voies.

Le train mal dirigé recevrait par suite le courant nécessaire pour faire fonctionner son frein, et nul accident ne pourrait se produire.

Voilà le service que pourraient rendre trois conducteurs installés suivant la combinaison que j'ai indiquée, ou suivant tout autre combinaison qui pourrait être préférable, et que la pratique indiquerait.

Trois conducteurs suffiraient pour préserver les trains entre eux et en outre pour signaler à distance la marche des trains ; il nous resterait donc dans le conduit trois conducteurs (on pourrait au besoin en augmenter le nombre) qu'on utiliserait pour toutes sortes de transmissions, télégraphiques, automatiques ou volontaires, établies entre les trains eux-mêmes ou entre la terre-ferme et les trains.

Je ne saurais entrer ici dans le détail des services qu'on pourrait ainsi établir ; mais il est incontestable, je crois, que l'application de ce système donnerait aux chemins de fer une facilité d'exploitation considérable. Sans parler de la liberté d'esprit rendue aux agents de tous genres qu'une surveillance exagérée, à laquelle ils sont obligés aujourd'hui, surmène outre mesure, ni de la plus grande capacité des lignes, résultant de la possibilité de rapprocher, grâce à ce système de block électro-automatique, les trains les uns des autres au point de les faire se suivre à moins de 1.000 mètres, et de les laisser venir jusqu'à ce qu'il n'y eût plus entre eux que l'intervalle largement suffisant pour que l'arrêt automatique pût s'opérer en toute sécurité, il est certain que la sécurité absolue serait assurée à tous les trains ; et cette sécurité compenserait, je crois, large-

ment les frais que l'installation de ce système pourrait entraîner.

Frais considérables, je le reconnais, mais dont la considération ne devrait pas entrer en balance avec la sécurité et la vie de milliers de voyageurs. C'est là, toutefois, je crois, l'objection la plus sérieuse qu'on puisse opposer à mon système.

ROMIGUIÈRE.



DÉTERMINATION

DE LA POSITION D'UN DÉFAUT

DANS LES CABLES AÉRIENS OU SOUTERRAINS

Les expériences que l'on peut faire dans les bureaux télégraphiques pour déterminer la position des défauts sur les lignes ne peuvent donner qu'une indication approximative, à 500 mètres ou à 1.000 mètres près par exemple. Cette indication, bien suffisante pour les lignes aériennes en fil nu visibles sur tout leur parcours, ne saurait permettre au contraire, pour les lignes en câbles aériennes ou souterraines, en égouts ou sous tunnels, de trouver d'un seul coup le point précis du défaut. Aussi en général, pour réparer un câble défectueux, on le coupe en deux endroits situés de part et d'autre du point présumé et à 500 mètres l'un de l'autre (aux regards ou chambres de coupure dans le cas de fils souterrains). On relève la longueur de 500 mètres de câble, après avoir reconnu qu'elle contient effectivement le défaut, et on la remplace par une longueur égale de câble en bon état.

Cette méthode à l'inconvénient d'obliger, pour la réparation d'un défaut unique, à remplacer une grande longueur de câble. Pour y remédier, M. Loir, inspecteur principal du contrôle au Ministère des Postes et Télégraphes, ayant à effectuer dernièrement à Lyon la

du câble est enlevée des crochets qui la supportent et isolée à la main du mur.

« Les observations sont faites au moyen d'un système astatique de galvanomètre Thomson, suspendu à l'intérieur d'un verre de lampe, fermé à sa partie supérieure par un bouchon en liège et à sa partie inférieure par une feuille de papier. Tel est l'appareil rudimentaire dont nous nous sommes servis.

« Au bureau B, 2 piles de 100 éléments accouplées en quantité ont été reliées au fil de ligne, puis on a promené lentement le système astatique le long du plomb.

« Voici quel a été le résultat :

« De B en M, le système dévie fortement dans un sens ; de M en P, il dévie encore, un peu moins fortement à la vérité, mais *en sens inverse* ; de P en D, il ne dévie plus, ou tout au moins reprend le sens primitif, mais plus faiblement, suivant que la perte est plus ou moins forte.

« En effet, de B en M, il n'y a qu'un seul courant ; mais, de P en M, il y en a deux égaux de sens inverse et dont les champs magnétiques n'agissent pas avec la même intensité sur l'équipage astatique, puisque celui extérieur, de sens inverse à BM, est sensiblement plus rapproché des barreaux aimantés.

« Le point P est donc déterminé d'une manière absolument précise sans aucune coupure de fil. Au moyen d'expériences faites dans le cabinet, j'ai constaté qu'on pouvait apprécier même une perte dont la résistance serait de 100.000 ohms. Cette limite serait sûrement dépassée si l'on se servait du miroir du système astatique. J'ai fait enlever la partie détériorée des câbles, soit 1^m,50 à 2 mètres, et remplacer par un câble neuf. »

Comme on le voit, la méthode de M. Loir suppose la faute déjà circonscrite dans un espace de 20 mètres environ, résultat qu'il paraît souvent difficile d'obtenir. Toutefois, les résultats qu'elle a donnés démontrent qu'elle est susceptible, dans certains cas, de rendre des services pour la réparation des lignes *sous tunnels ou en égouts*.

D'un autre côté, M. E. Gérard, professeur à l'Institut électrotechnique Montefiore, a donné, dans la *Lumière électrique* (février 1886), la description d'une méthode destinée également à la recherche précise de la position d'un dérangement, sans coupure de fil, dans le cas de lignes souterraines ou même sous-fluviales. Nous extrayons le passage suivant de cette description :

« Ayant eu récemment à rechercher une perte à la terre dans un câble à lumière isolé, l'idée m'est venue de recourir à l'induction téléphonique pour localiser le défaut.

« Dans ce but l'une des extrémités du câble fut isolée; par l'autre extrémité, j'envoyai un courant, fourni par une pile dont l'un des pôles communiquait au sol, et rendu intermittent au moyen d'un interrupteur. Cela fait, je suivis le câble à partir de l'interrupteur, en tenant d'une main une bobine dont le noyau de fer doux conservait une direction normale à celle du câble; de l'autre main, je fixai à mon oreille un téléphone relié au fil de la bobine. Les courants intermittents parcourant le câble entre la pile et la section défectueuse, provoquaient dans la bobine des courants induits qu'accusait très nettement le téléphone. Au moment où j'atteignis cette section, le bruit cessa brusquement. Je pus

ainsi déterminer, avec une rapidité et une netteté qui me surprirent, la cause du dérangement.

« L'interrupteur employé était un mécanisme d'horlogerie dont le massif métallique communiquait avec le câble; une lame élastique, reliée à la pile, appuyait sur les dents d'un des rouages et provoquait des interruptions au passage d'une dent à la suivante.

« Un moyen plus simple consiste à intercaler, entre la pile et la ligne, un trembleur électrique, par exemple une sonnerie dont on a enlevé le timbre.

« Enfin, si le défaut est très résistant, et si l'on ne possède pas une pile capable de provoquer des courants d'intensité suffisante, on peut envoyer sur la ligne les courants secondaires d'une bobine d'induction convenablement étudiée.

« D'après les résultats que j'ai obtenus, la méthode ci-dessus serait applicable à la localisation des défauts des câbles isolés enfouis dans le sol ou sous l'eau, particulièrement des contacts à la terre, *sans qu'il soit nécessaire de creuser des tranchées ou de ramener le conducteur à la surface.*

« Ainsi, dans le cas d'un conducteur souterrain, il suffira de conduire la bobine accusatrice sur le sol de la chaussée à l'heure où le roulage cesse.

« Dans le cas d'un câble sous-fluvial, on pourra immerger la bobine dans l'eau et suivre en bateau la ligne du câble.

« *Cette méthode n'exige que des appareils robustes, qui peuvent être confiés à des mains peu exercées.*

« Enfin, elle est d'autant plus rigoureuse que les conducteurs sont plus forts, puisque les courants que l'on peut envoyer dans la ligne sont en rapport avec le diamètre des conducteurs.

« Le moyen est donc particulièrement utilisable dans le cas de canalisations d'éclairage électrique, pour lesquelles il n'existait pas, à ma connaissance, de méthodes de recherches satisfaisantes.

« La même combinaison peut être utilisée pour retrouver le tracé exact d'un câble soustrait à la vue. Il suffit de lancer dans la ligne des courants interrompus, pour que le téléphone serve de guide le long du tracé inconnu ou perdu.

« Pour que le procédé que je viens de décrire soit applicable, il faut non seulement que le courant intermittent ait l'intensité voulue, mais les ondulations du courant doivent être assez accusées pour influencer par induction le téléphone. On sait qu'en traversant les longs câbles, les courants intermittents se fondent les uns dans les autres et qu'ils perdent la propriété d'agir sur le téléphone.

« Toutefois, je ne vois aucune impossibilité à appliquer la méthode aux câbles sous-marins de peu de longueur ou à relever les défauts qu'on soupçonne être situés non loin des points d'atterrissement. »

CHRONIQUE.

Sur la résistance électrique du maillechort.

On trouve dans les traités et les formulaires les renseignements les plus divers, souvent même contradictoires, relativement à la composition, à la résistance spécifique et à la densité du maillechort. M. Weston, frappé à juste raison de ces contradictions, a entrepris une série de recherches sur ce sujet, recherches que M. George B. Prescott résume dans un article récent publié par *The Electrician and Electrical Engineer* de New-York.

On se rappelle aussi qu'il y a environ un an M. Martino, de Sheffield, avait trouvé un nouvel alliage, le *platinoïde*, qui, d'après M. Bottomley, aurait une résistance spécifique une fois et demie plus grande que celle du maillechort, et un coefficient de variation de résistance avec la température deux fois moins grand. Ce platinoïde n'était pas autre chose que du maillechort ordinaire additionné de 1 à 2 p. 100 de tungstène métallique.

Il résulte des expériences de M. Weston que l'addition du tungstène au maillechort ne produit pas le moindre changement dans les propriétés électriques, même en portant les proportions du tungstène jusqu'à 5 p. 100.

Par contre, la résistance du maillechort varie presque proportionnellement avec la quantité de nickel, et les effets de la température sur la résistance spécifique varient inversement avec la quantité de nickel. Plus il y a de nickel, moins la résistance spécifique varie. L'effet du zinc paraît être celui d'un simple dissolvant : il rend l'alliage ductile et lui donne des propriétés mécaniques qui justifient sa présence.

Le tableau ci-dessous montre l'influence du pourcentage de nickel sur la résistance spécifique de l'alliage. Les valeurs sont données en livres par ohm-mile et réduites en kilogrammes par ohm-kilomètre. Les chiffres se rapportent à la composition *initiale* du mélange. Il ne semble pas, si l'alliage est bien recuit, que l'étirage modifie ses propriétés électriques ; mais, pendant la fusion, il se produit l'oxydation d'une partie

plus ou moins importante de zinc, et la composition finale se trouve alors différente.

COMPOSITION DE L'ALLIAGE.			NICKEL pour 100.	POIDS	
Cuivre.	Zinc.	Nickel.		en livres par mile-ohm.	en kilogrammes par ohm-kilomètre.
100	50	20	12	11 572	2 026
—	—	30	17	14 599	2 536
—	—	33	18	15 325	2 683
—	—	33	18	15 448	2 704
—	—	33	18	15 626	2 736
—	—	35	19	15 599	2 731
—	—	40	21	18 054	3 161
—	—	50	25	18 172	3 181
—	—	50	25	19 009	3 267
—	—	50	25	19 077	3 340
—	—	50	25	19 594	3 430
—	—	50	25	19 670	3 444
—	—	50	25	20 354	3 563
—	—	50	25	21 402	3 617
—	52,75	78,74	34	24 485	4 287

Les chiffres de M. Weston ne permettent pas de calculer la résistance spécifique des échantillons parce que la densité des différents alliages n'est pas donnée. Cette densité est voisine de 8,5, mais elle doit varier avec les proportions de nickel. L'ohm-mile des alliages essayés avant les recherches de M. Weston variait entre 10.672 livres et 17.834 livres.

M. Prescott conclut en recommandant aux fabricants de maillechort à l'usage des électriciens de bien spécifier les qualités de leurs produits, en faisant connaître le pourcentage de nickel et l'alliage, et aux marchands de s'assurer des qualités de leurs marchandises avant de publier des tables de résistance.

(*L'Électricien*)

Soudure des métaux par l'électricité.

On a souvent avantage à souder un métal à lui-même ou deux métaux entre eux sans interposition de métal ou d'alliage étranger.

M. Elihu Thomson (*) a proposé récemment de mettre à pro-

(*) *Electrical World*, 28 août 1886, p. 98.

fit l'échauffement produit dans un conducteur par le passage d'un courant intense. Le dispositif adopté, par exemple pour les fils, comprend deux grosses barres métalliques en communication avec la source d'électricité, isolées l'une de l'autre; un ressort tend à les rapprocher, tandis qu'une vis à écrou en règle l'écartement. A travers ces barres et serrées convenablement passent les extrémités des fils à souder, placées bout à bout. L'échauffement dû au passage du courant dans ces portions des fils suffit pour déterminer la soudure des surfaces en contact : on peut, en général, rejeter l'emploi des fondants, borax et autres, et se contenter de nettoyer au préalable les sections terminales.

On est arrivé, paraît-il, à souder facilement par ce moyen des fils de cuivre, de laiton, de fer, d'acier et de maillechort (métal sur métal identique); on ne rencontrerait même aucun obstacle à la soudure du maillechort avec le fer ou l'acier, du laiton avec le fer, etc.

Si des résultats analogues peuvent être obtenus, dans la pratique industrielle, ce procédé aura un certain nombre d'applications (fabrication des câbles sans fin, des chaînes, etc. La réduction au minimum des longueurs échauffées présente d'ailleurs, en différents cas, un réel intérêt.

La fibre vulcanisée.

La fibre vulcanisée, dont on fait aujourd'hui un usage considérable dans l'industrie électrique, est un produit américain d'invention récente. Elle s'emploie dans ses applications sous une forme dure; sa texture est parfaitement homogène. Elle peut être travaillée comme le bois et le fer; elle ne se fendille pas et offre une très grande résistance au frottement; elle se colle très facilement; sa densité n'est que de 1,3, de telle sorte qu'elle peut fournir des objets à la fois solides et légers. L'eau est sans action sur la fibre ainsi que les huiles de toute nature; elle la fait simplement gonfler un peu; les variations atmosphériques ne la détériorent pas, et elle est inattaquable par les essences, l'ammoniaque, l'éther, la térébenthine, les acides faibles, etc. Enfin elle est très mauvaise conductrice de l'électricité.

Toutes ces qualités rendent la fibre très précieuse dans les applications électriques, où elle est surtout utilisée pour la fabrication des plaques isolantes de dynamos, commutateurs, appareils téléphoniques et télégraphiques, lampes, etc.

Cette fibre est de la cellulose pure débarrassée de tous ses éléments solubles et volatils. On l'obtient en broyant les fibres végétales finement pulvérisées et en les soumettant pendant plus ou moins de temps à une pression d'environ 500 atmosphères. Ce procédé de fabrication transforme complètement la nature première de la matière et lui donne des qualités nouvelles qui lui permettent de remplacer avantageusement le caoutchouc, le cuir, la gutta-percha, l'ébonite, l'os, et même dans certains cas spéciaux des métaux fusibles comme le bronze.

(Bulletin international de l'Électricité.)

Une nouvelle application de l'électricité.

Les Américains viennent d'introduire l'électricité dans les abattoirs, non pas pour assommer les animaux, mais pour les dépecer.

Dans les immenses abattoirs des États-Unis il arrive souvent que dans les moments de presse on emploie des ouvriers inexpérimentés, lesquels, en taillant accidentellement les peaux des animaux, en réduisent sérieusement la valeur. Comme la plupart de ces établissements sont pourvus d'une installation d'éclairage électrique ne servant à rien pendant la journée, le directeur de l'un d'eux eut l'idée d'utiliser le courant pour dépecer les animaux au moyen d'un fil de platine chauffé à l'incandescence et disposé à la façon d'un couteau à dépecer.

Le résultat, dit-on, serait des plus satisfaisants; les peaux ne seraient pas avariées et vaudraient 50 cent. de plus par kilogramme; la viande conservée serait meilleure et l'ouvrier le moins habile et le plus inexpérimenté pourrait opérer aussi facilement que le plus expert.

(Bulletin intern. de l'Électricité.)

Sur la sensibilité du sélénium et du soufre à la lumière

Par S. BIDWELL (*Phil. Mag.*, 1885).

L'auteur cherche à expliquer les propriétés électriques très curieuses du sélénium. Selon lui, le sélénium contient toujours des quantités plus ou moins notables de séléniures, et c'est à leur électrolyse qu'il faut attribuer, par exemple, la polarisation que l'on observe dans cette substance, après qu'on y a fait passer un courant.

Ces séléniures doivent être particulièrement abondants au voisinage des lames qui servent d'électrodes et au contact desquelles il a été maintenu, pendant longtemps, à une température élevée. Le recuit qu'on a coutume de faire subir au sélénium, pour le rendre plus sensible à la lumière, détermine, d'une part, la cristallisation de cette substance et favorise, d'autre part, la diffusion, dans la masse, des séléniures formés au contact des électrodes.

Le sélénium vitreux, même chargé de séléniures, est mauvais conducteur. Lorsqu'il est cristallin, il est sans doute très isolant s'il est pur; mais de très faibles quantités de séléniures métalliques suffisent pour le rendre conducteur. M. Bidwell a trouvé, en effet, que la résistance spécifique d'un échantillon de sélénium, vendu comme pur, était de 2.500 megohms, tandis que la résistance du même sélénium, coulé dans un moule en cuivre, était environ 3.000 fois moindre.

On peut rapprocher ces faits des suivants : le mélange de plombagine et de gomme-laque est très isolant, tandis que le soufre devient passablement conducteur s'il contient un peu de plombagine. Dans le premier cas, les grains de cette substance sont empâtés dans la gomme-laque, tandis qu'ils restent séparés, dans le deuxième, des petits cristaux de soufre et forment une sorte de réseau conducteur.

La résistance du second mélange diminue quand on augmente la puissance de la pile, et il en est de même pour le sélénium. On peut admettre que la conductibilité est produite, en partie, par des décharges entre les parcelles de substance conductrice qui ne se touchent pas.

M. Bidwell donne une certaine force à ses arguments en reproduisant, avec le soufre, les expériences que l'on fait d'ordinaire avec le sélénium.

Il prépare, par divers procédés, de petites plaques de soufre additionné de sulfure d'argent. La résistance de l'une d'elles diminue instantanément de moitié, pour reprendre ensuite sa valeur initiale quand on brûle devant elle un fil de magnésium.

Une autre plaquette, de résistance relativement faible (100.000 ohms), fut mise, en même temps qu'un téléphone, dans le circuit d'une batterie de dix éléments de Leclanché; puis on laissa tomber sur elle un faisceau lumineux rapidement interrompu. Le téléphone produisit un son comparable à celui que l'on peut obtenir avec un bon photophone à sélénium.

Une feuille d'argent exposée à la vapeur de soufre, jusqu'à ce qu'elle soit noire sur les deux faces, est excessivement sensible à la lumière.

Ces divers échantillons présentent, comme le sélénium, le phénomène de la polarisation.

L'auteur considère que l'électrolyse du sulfure d'argent doit donner naissance à un dépôt de soufre sur l'anode. Ce dépôt pourrait arrêter complètement le courant si le soufre ne se combinait, en même temps, au métal (argent) qui forme cette électrode. Il en résulte que la résistance sera diminuée si l'on facilite cette combinaison. Or M. Bidwell montre, par plusieurs expériences, que la sulfuration de l'argent se produit bien mieux à la lumière que dans l'obscurité. Il badigeonne, par exemple, une feuille d'argent avec une dissolution de soufre dans le sulfure de carbone et l'expose, au fond d'un vase rempli d'eau, aux rayons solaires, de manière qu'une partie reste dans l'ombre. Celle-ci est à peine jaunie lorsque le reste du métal est fortement bruni.

Enfin, si l'on fait passer un courant dans un mélange de soufre et de sulfure d'argent, au moyen de deux électrodes, l'une en argent, l'autre en fer (métal qui se combine au soufre moins facilement que l'argent), la résistance paraît toutefois plus grande lorsqu'on fait entrer le courant par le fer, que s'il entre par l'argent.

(Journal de Physique.)

Courants engendrés par des piles à soufre

Par J. BIDWELL (*Phil. Mag.*, 1885).

L'auteur forme de véritables éléments de pile au moyen de deux lames de cuivre et d'argent séparées par un mélange de soufre et de sulfure de cuivre ou d'argent, ou mieux encore par deux couches de sulfures de ces métaux adjacentes à chacun d'eux. Le courant va de l'argent au cuivre dans ces éléments. L'un d'eux, formé par un mélange de 5 parties de soufre pour 1 partie de sulfure de cuivre compris entre deux lames carrées de 0^m,03 de côté et distantes de 0^m,3 avait une force électromotrice de 0^{volt},07 et une résistance intérieure de 6.500 ohms. Si l'on augmente la proportion de sulfure, la résistance diminue; mais il en est de même de la force électromotrice : celle-ci disparaît complètement si l'on emploie le sulfure de cuivre exempt de soufre libre.

Si l'on remplace le mélange ci-dessus par le sulfure d'argent seul, on voit se produire un courant de sens contraire à celui qu'on obtenait précédemment. Il ne se produit plus de courant si l'on remplace l'argent par l'or ou le fer. Le courant que fournit le couple cuivre-argent contenant du soufre additionné de sulfure est diminué par l'action de la lumière et augmente quand on élève la température. L'auteur n'a pas déterminé si l'influence était exercée sur la force électromotrice ou sur la résistance.

M. Bidwell a observé, en outre, un phénomène analogue à celui que Faraday a découvert sur des lames de cuivre ou d'argent plongées dans une dissolution de sulfure de potassium. Après avoir fait passer un courant dans un mélange de soufre et de sulfure d'argent, il constate un courant de polarisation de très courte durée, puis un courant de même sens que le premier et qui peut durer plusieurs heures; celui-ci fut suivi, au moins dans un cas, d'un courant inverse.

(*Journal de Physique.*)

Détermination des constantes des fils de nickeline au laboratoire électrotechnique de Munich.

Pour l'établissement des bobines de résistance, il convient d'employer des métaux ou des alliages doués d'une grande résistance spécifique et d'un coefficient de température très faible.

Parmi ceux qui paraissent les plus avantageux sont le maillechort et un alliage de platine et d'argent (33,4 p. 100 de platine), dont malheureusement le prix est très élevé.

Depuis un an environ, on trouve dans le commerce un nouveau produit, genre maillechort, composé par H. Kirchhof, de Berlin, et connu sous le nom de *nickeline*. Ce produit est bien supérieur au maillechort. Il était donc intéressant de déterminer exactement ses constantes. Tout d'abord deux mesures bien concordantes lui ont assigné 8,88 comme densité. Les deux constantes électriques ont été expérimentées au moyen d'un électro-calorimètre d'Edelman. La spirale de nickeline était plongée dans le pétrole et se trouvait en communication avec une boîte de résistances récemment construite par Siemens.

Il résulte, de deux séries d'expériences faites sur cet alliage par *M. F. Uppenborn*, que sa résistance spécifique est égale à 0,4117 et que le coefficient de température est égal à 0,00028, chiffre inférieur à celui du maillechort et de l'alliage platine-argent.

(*L'Électricien.*)

BIBLIOGRAPHIE.

Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme, par MM. Mascart et Joubert. — 2^e volume. (Masson, éditeur.)

MM. Mascart et Joubert viennent de faire paraître le second volume de leurs leçons sur l'électricité et le magnétisme. Ce volume, qui traite des méthodes de mesure des grandeurs électriques et de leurs applications, complète l'œuvre commencée par les deux savants en 1882, et contribuera puissamment au développement en France de l'étude de l'électricité au point de vue théorique.

L'ouvrage est divisé en quatre parties.

La première est consacrée à l'étude des méthodes de mesure, mesure des angles, des oscillations, des couples; et se termine par deux chapitres consacrés aux propriétés des courants circulaires et aux coefficients d'induction.

Dans la seconde partie, MM. Mascart et Joubert donnent les formules qui se rapportent aux mesures électriques et passent successivement en revue l'électrométrie, les procédés de mesure des intensités, des résistances, des forces électromotrices, des capacités électrostatiques, les procédés de détermination des coefficients d'induction mutuelle et de self-induction, et les diverses méthodes employées pour la détermination de l'unité absolue de résistance, qui a servi à la fixation de l'ohm.

La troisième partie a trait aux mesures magnétiques et comprend les procédés d'étude d'une charge magnétique et la détermination des constantes d'aimantation.

Enfin dans la quatrième partie les auteurs étudient, peut-être un peu trop sommairement, les applications industrielles de l'électricité : machines électrostatiques, piles avec leur rendement économique, éclairage électrique, galvanoplastie, accumulateurs, machines électromagnétiques, distribution de l'énergie, etc.

L'ouvrage, qui ne comprend pas moins de 870 pages, se termine par une série de tableaux et de constantes numériques.

Les Postes françaises, par Alexis Belloc (Firmin Didot).

Le volume que M. Alexis Belloc, sous-chef de bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, vient de consacrer aux *Postes françaises*, s'adresse non seulement au personnel de ce ministère, mais à tout le public, et il mérite d'être particulièrement apprécié par les érudits, les chercheurs et les curieux.

L'auteur a eu à sa disposition et a mis à profit tous les documents que possède la bibliothèque du ministère des postes; il a pu puiser de même à certaines sources réservées, dans certains recueils qui n'existent pas dans le commerce. Au point de vue administratif, l'ouvrage de M. Belloc est donc aussi complet qu'on peut le désirer : on y trouve tous les règlements, décrets, tarifs, etc., concernant le service postal à toutes les époques. Mais — et c'est ce qui donne à cette publication un intérêt plus général et un très puissant attrait — l'auteur a aussi compulsé tous les historiens, chroniqueurs, romanciers, etc. toutes les correspondances célèbres, tous les mémoires, — depuis les *Commentaires* de César et l'*Histoire ecclésiastique* de Grégoire de Tours jusqu'à M^{me} de Sévigné, Saint-Simon, etc. — et en a extrait tout ce qui se rapporte à son sujet, à l'histoire des postes en France.

L'ouvrage, dans son ensemble, est très méthodiquement ordonné. Il débute par un rapide coup d'œil sur les *Postes dans l'antiquité* (Égypte, Perse, Grèce, Rome); puis par une étude sur les postes et messageries (ou du moins ce qui y ressemblait) pendant la période qui s'étend de l'origine de la Gaule à l'avènement de Louis XI. A partir de Louis XI, à qui est due la création du service postal en France, chaque règne ou période gouvernementale occupe un chapitre. Le livre, qui comprend jusqu'aux projets de lois présentés à la Chambre dans les premiers mois de cette année, se termine par une notice sur le nouvel Hôtel des Postes, par une liste chronologique de tous les personnages qui ont dirigé le service des postes en France, et par un index alphabétique des noms de tous les auteurs et personnages cités dans le cours du volume.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1886

Novembre-Décembre

LES MACHINES DU SERVICE PNEUMATIQUE AU NOUVEL HOTEL DES POSTES A PARIS

En 1879, M. Ad. Cochery, alors ministre des postes et des télégraphes, fit décider par les pouvoirs publics la reconstruction de l'ancien Hôtel des postes de Paris, qui, malgré les transformations et les agrandissements successifs dont il avait été l'objet à diverses époques, répondait très imparfaitement aux exigences multiples et croissantes du service.

Cet édifice, construit en quatre ans sous la direction de M. Guadet, l'un de nos plus habiles architectes, et doté par lui de tous les perfectionnements que comporte la science moderne, allie heureusement la nécessité d'une exploitation industrielle avec le caractère architectural d'un monument de cette importance élevé au centre de Paris.

Deux groupes de machines à vapeur ont été installés dans les sous-sols de l'Hôtel. Le premier devait assurer d'une part, par l'intermédiaire d'eau comprimée à 50 atmosphères, le fonctionnement de quatre monte-charges destinés à élever à tous les étages les lettres, imprimés, journaux, etc., qui y subissent une manipulation, et, d'autre part, la circulation, dans toutes les parties de l'Hôtel, de l'eau nécessaire à la propreté, au service des incendies, etc., et, enfin, le rejet à l'égout de ces mêmes eaux rassemblées dans une citerne de plus de 60 mètres cubes de capacité et qui a été creusée dans le lit de fondation de l'édifice. Ce premier groupe de machines avec les pompes élévatoires a été construit par M. Boudier, de Rouen. Les accumulateurs et les monte-charges ont été construits par MM. Renaud et Bompain, également de Rouen. Les pompes de compression d'eau, enfin, ont été fournies par la Société lyonnaise de constructions mécaniques. Tous ces travaux ont été exécutés sous la direction et d'après les plans de M. Bonnet, ingénieur civil et professeur à l'École centrale des arts et manufactures. Le deuxième groupe qui n'avait aucune relation nécessaire ou indispensable avec l'Hôtel-des-Postes devait comprimer et raréfier dans de vastes réservoirs l'air nécessaire à l'exploitation d'une partie du réseau pneumatique de Paris : deux conduites de 0^m,30 de diamètre ont, à cet effet, été établies entre ces réservoirs et le bureau télégraphique de la Bourse, centre principal de ce réseau.

Tout en s'assurant ainsi des conditions d'exploitation plus économiques, l'administration pouvait en même temps disposer, au bureau de la Bourse, d'une force motrice cinq fois plus grande que celle qui lui était

fournie précédemment par l'atelier installé dans les sous-sols du palais, et cette force peut être encore augmentée d'une centaine de chevaux par l'adjonction d'une troisième machine pour laquelle on a réservé non seulement l'espace nécessaire, mais les tubulures d'attente sur la tuyauterie d'air et d'eau. Les nouveaux compresseurs ayant, en outre, un rendement beaucoup plus élevé que les anciens, il devenait possible de songer à réaliser, dans l'organisation du réseau pneumatique, les améliorations réclamées depuis longtemps avec instance par la population parisienne. Ce groupe de machines a été construit par MM. Schneider et C^{ie}, du Creusot, à la suite d'un concours dont le programme avait été arrêté par une commission technique spéciale et sous la surveillance des ingénieurs de l'administration. Des dessins de ces machines, exécutés gracieusement par MM. Schneider et C^{ie}, ont été joints à ceux que l'administration a envoyés, cette année même, à l'Exposition internationale de la Nouvelle-Orléans pour la description de son service pneumatique, et qui lui ont valu deux diplômes de mérite de 1^{re} classe.

Les deux groupes de machines comportent chacun un rechange complet, de manière à ce que le service soit assuré en tout temps, malgré les avaries accidentelles possibles dans une installation aussi compliquée. Ils sont alimentés par les mêmes générateurs à vapeur, système inéxplosible J. Belleville et fils, de Saint-Denis. Ces générateurs au nombre de quatre, dont deux servant également de rechange, peuvent développer chacun 1.050 kilos de vapeur sèche à l'heure ; ils reçoivent de l'eau de l'Ourcq prise sur la canalisation générale de la ville.

Nous ne donnerons ci-dessous qu'une description succincte des machines et appareils accessoires concernant le service pneumatique (*).

1° MACHINES MOTRICES.

Le programme imposé aux constructeurs des machines du service pneumatique les obligeait, d'une part, à refouler, par minute, dans les réservoirs contenant de l'air comprimé à la pression de 136 centimètres de mercure ($0^m,76 + 0^m,60$), 30 mètres cubes d'air atmosphérique, et, d'autre part, à rejeter dans l'atmosphère, par minute, 30 mètres cubes d'air pris dans les réservoirs d'air raréfié, à la pression absolue de 26 centimètres de mercure ($0^m,76 - 0^m,50$) : exceptionnellement aux essais, les machines devaient comprimer l'air à 4 atmosphères et le raréfier à $0^m,10$ de mercure. La température de l'air comprimé ne devait dépasser en aucun point de plus de 20° la température à la prise d'air. Les constructeurs devaient, en outre, garantir un maximum de 9 kilos pour la consommation de vapeur, prise à la pression de $6^k,5$ par heure, et par force de cheval de 75 kilogrammètres et mesurée en travail utile, soit par le remplissage des réservoirs de pression ou la raréfaction des réservoirs de vide, soit au moyen de diagrammes relevés sur les compresseurs d'air.

Les moteurs à vapeur (Pl. I), au nombre de deux, exactement semblables entre eux, sont du type Corliss

(*) Les machines du service intérieur ont été installées par les soins de la direction des bâtiments civils (ministère des Beaux-Arts). Les essais de réception des machines motrices de ce groupe ont eu lieu dans le courant du mois de novembre dernier : mais certains organes des montecharges doivent subir encore des modifications assez importantes.

et construits sur le modèle des machines destinées à assurer l'éclairage électrique des grands magasins du Printemps ; on en trouvera la description détaillée dans la publication industrielle des machines, outils et appareils (*). Toutefois, afin d'éviter une transmission intermédiaire inutile entre le moteur et les pompes à air, les condenseurs, au lieu d'être actionnés directement par le piston du cylindre à vapeur, ont été disposés verticalement en contre-bas des machines et dans le voisinage de l'arbre de couche qui leur transmet le mouvement, à l'aide d'une manivelle et d'une bielle ; les clapets des condenseurs sont en caoutchouc.

L'eau nécessaire à la condensation de la vapeur est aspirée directement par les condenseurs dans un puits artésien qui a été foré dans l'Hôtel à 125 mètres de profondeur, et qui, aux essais du mois de janvier 1886, donnait un débit de 52^{cm},900 d'eau avec une dénivellation de 3^m,34.

Un autre puits artésien de 105 mètres de profondeur a été foré dans l'Hôtel, un peu plus loin, pour l'alimentation des machines de service intérieur. Le volume d'eau débité par ce puits étant tombé, au bout de quelques mois de fonctionnement, au tiers environ du volume qui avait été obtenu lors des essais. M. Cerrault a entrepris de l'approfondir de 25 à 30 mètres. Ce travail est actuellement en cours d'exécution.

L'aspiration directe dans les puits, par les condenseurs des machines du service intérieur, ayant présenté des inconvénients, deux pompes pouvant débiter

(*) Armengaud aîné, éditeur. Paris, 1884.

l'une 100 mètres cubes, l'autre 45 mètres cubes d'eau par heure, et actionnées par un petit moteur à vapeur, aspireront l'eau dans les deux puits et la refouleront dans une bêche *e* (Pl. I) branchée sur les conduites d'aspiration des deux groupes de machines.

Pour assurer en outre la condensation de la vapeur, soit en cas de réparation des puits, soit en cas d'insuffisance de l'eau fournie par ces puits, deux conduites branchées sur deux sections distinctes de la canalisation générale d'eau de l'Ourcq de la ville, et pouvant débiter l'une 70 mètres cubes, l'autre 30 mètres cubes d'eau par heure, débouchent au-dessus de la bêche *e*. La première de ces conduites est fermée par un robinet flotteur qui s'ouvre dès que le niveau de l'eau dans la bêche s'est abaissé au-dessous d'un niveau déterminé, de manière à ce que l'eau de l'Ourcq vienne suppléer automatiquement à l'insuffisance de l'eau des puits. La deuxième conduite d'eau de l'Ourcq est munie d'une vanne que l'on manœuvre à la main : une sonnerie électrique mise en mouvement par un petit flotteur avertit les machinistes de l'instant où il devient nécessaire d'ouvrir cette vanne, par suite de l'abaissement du niveau de l'eau dans la bêche *e*.

Dans la bêche aboutit, en outre, une conduite munie d'une crépine que l'on peut soulever ou abaisser à volonté; cette conduite permet de verser dans le puits l'excédant de l'eau qui ne serait pas absorbée par les machines, dans le cas où la soupape régulatrice ne fonctionnerait pas accidentellement. Cette disposition a été prise, d'une part, pour éviter des inondations accidentelles, d'autre part, pour empêcher l'eau de s'élever au-dessus d'un niveau déterminé et de pénétrer ainsi jusque dans les cylindres à

vapeur. Un flotteur relié à une cordelette qui s'enroule sur deux petites poulies est équilibré par un contre-poids mobile le long d'une règle graduée et donne à chaque instant la hauteur du niveau de l'eau dans chaque puits.

Des appareils enregistreurs, construits par MM. Richard frères, et analogues à ceux qui sont décrits plus loin, seront installés prochainement au-dessus des puits. On obtiendra ainsi tous les jours, sur une feuille de papier, une courbe donnant, en fonction du temps, toutes les variations du niveau de l'eau dans le puits correspondant.

L'évacuation de l'eau de condensation se fait dans une grosse conduite qui peut se déverser à volonté dans l'égoût de la rue Jean-Jacques-Rousseau, ou dans celui de la rue Étienne-Marcel.

Les dimensions principales des moteurs à vapeur sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à vapeur.	0 ^m ,450
Course du piston à vapeur.	1 ,000
Nombre de tours par minute.	53
Diamètre extérieur du volant.	4 ,500
Poids du volant.	8,000 ^k
Diamètre de la tige du piston.	0 ^m ,080
Diamètre de la pompe à air.	0 ,365
Course id.	0 ,300
Rapport du volume du cylindre à vapeur au volume de la pompe à air.	5 ,08
Diamètre des soupapes de prise de vapeur des machines.	0 ,140
Diamètre du tuyau d'échappement de vapeur . . .	0 ,180
Diamètre du tuyau d'injection	0 ,080
Diamètre du tuyau d'évacuation du condenseur. .	0 ,180
Puissance indiquée sur le piston à vapeur. . . .	105 ch.

2° COMPRESSEURS D'AIR.

La compression et la raréfaction de l'air se font dans deux cylindres placés l'un à la suite de l'autre et du cylindre à vapeur ; les pistons qui se meuvent dans les cylindres sont commandés directement par le prolongement de la tige du piston à vapeur, en évitant ainsi tout organe intermédiaire entre la puissance et la résistance, d'où résulte un rendement élevé des moteurs et une simplification appréciable de l'entretien.

Les compresseurs qui aspirent dans l'atmosphère pour refouler dans les réservoirs de pression, et ceux qui aspirent dans les réservoirs de vide pour refouler dans l'atmosphère (Pl. I et II), sont exactement semblables entre eux et ne diffèrent que par la disposition donnée aux clapets d'aspiration et de refoulement. Ces clapets, du système Corliss, sont formés d'une rondelle mince de cuivre phosphoreux battant sur un siège en bronze et guidée, sans frottement, pendant sa levée, par un ressort hélicoïdal, également en cuivre phosphoreux, et dont l'extrémité supérieure s'appuie sur quatre montants fixés au siège de l'appareil. Ces clapets entièrement métalliques ont sur ceux en caoutchouc, qui sont employés dans les pompes à air ordinaires du service pneumatique, l'avantage de pouvoir fonctionner sans se détériorer, à des températures élevées, et, par leur masse presque nulle et leur brusque fermeture, de permettre de donner à la machine une allure plus rapide.

Les clapets sont (Pl. II) placés sur les deux fonds de chaque compresseur, au nombre de 60 par fonds ; le cylindre qui les porte est recouvert d'une deuxième en-

veloppe également cylindrique, divisée en deux compartiments par une cloison verticale passant par l'axe du compresseur. Chaque compartiment est en communication avec la canalisation d'air, par une tubulure venue de fonte avec la deuxième enveloppe cylindrique. Les 60 clapets qui se trouvent sur le fonds de chaque cylindre ont une disposition inverse dans les deux compartiments sur lesquels ils se trouvent; les clapets appartenant à un même compartiment, mais placés sur les fonds opposés du même cylindre, sont également inversés les uns par rapport aux autres. Les compresseurs sont ainsi à double effet, aspirant et refoulant l'air dans les mêmes conduites à chaque coup de piston.

Pour atténuer l'échauffement résultant de la compression de l'air, on a ménagé, dans l'épaisseur de la paroi du cylindre intérieur, un espace vide dans lequel s'établit une circulation continue d'eau froide. Cette eau est aspirée dans la conduite d'alimentation des condenseurs et refoulée ensuite dans l'espace vide annulaire, par une petite pompe aspirante et foulante qui reçoit son mouvement de l'arbre de couche de la machine et peut débiter 60 litres d'eau par minute. Cette eau est déversée ensuite dans la conduite générale d'évacuation à l'égout.

Lorsque l'air, plus ou moins saturé de vapeur d'eau à une température assez élevée, pénètre dans les conduites qui sont placées en majeure partie dans les égouts, l'abaissement de température qu'éprouve la masse d'air est, en été, souvent suffisant pour provoquer la condensation d'une partie de la vapeur d'eau. Les lignes se mouillent alors et salissent les dépêches contenues dans les trains, malgré les boîtes et étuis

qui les renferment. En hiver, cette condensation se produit de préférence sur les lignes en tranchée, aux points où les conduites sont séparées de l'atmosphère par une couche de terrain insuffisante, à la traversée de certains ponts métalliques surtout, où il n'est pas possible de prendre des mesures efficaces contre le refroidissement des conduites d'air. L'eau condensée peut alors se congeler et amener une interruption totale du service. Ces blocs de glace peuvent parfois être brisés à l'aide de pistons en fer rougis que l'on lance dans les tuyaux : dans des cas exceptionnels, l'ouverture d'une tranchée et le démontage de la ligne deviennent indispensables. C'est pour ce motif que le refroidissement de l'air par injection directe d'eau dans les compresseurs a dû être soigneusement évité. Il est probable, toutefois, qu'à l'Hôtel des postes la majeure partie de la vapeur d'eau contenue dans l'air comprimé se déposera toujours dans les réservoirs d'air qui sont placés dans des parties voûtées du sous-sol où la température suivra sans doute les mêmes variations que dans les égouts. Tous les moyens artificiels qui ont été essayés pour faire précipiter cette vapeur, tels que l'emploi du chlorure de calcium, n'ont donné que des résultats insuffisants. Le travail en circuit fermé est destiné à remédier au même inconvénient ; il consiste à puiser dans les réservoirs vides, au lieu de l'atmosphère, l'air destiné à être refoulé dans les réservoirs de pression, de manière à faire circuler dans la ligne toujours la même masse d'air. La canalisation de l'Hôtel des postes a été disposée de manière à permettre le fonctionnement dans ces conditions, ainsi que nous le verrons un peu plus bas. Le circuit fermé a toutefois l'inconvénient d'abaisser sensiblement la

pression de l'air comprimé et de ralentir conséquemment la marche des trains; ce n'est d'ailleurs qu'un palliatif insuffisant au mal qu'il est destiné à combattre; une certaine quantité d'air se perdant à chaque manœuvre des appareils dans les bureaux, doit nécessairement être remplacée par une quantité correspondante d'air empruntée à l'atmosphère, et cet air amène chaque fois de nouveaux dépôts de vapeur d'eau.

On pourrait, en cas de besoin, faire passer l'air comprimé, avant son entrée dans les réservoirs, dans un appareil appelé condenseur à surface, et qui consiste essentiellement en une série de tuyaux parallèles dans lesquels passe l'air comprimé; entre ces tuyaux circule un filet d'eau froide pulvérisée par un jet d'air comprimé. Un appareil de ce genre, construit dans les ateliers de M. Crespin, sera installé prochainement, à titre d'essai, dans l'atelier de la rue Poliveau.

Les dimensions et données principales des compresseurs d'air sont :

Diamètre du piston.	0 ^m ,630
Course du piston.	1 ,000
Nombre de coups doubles par minute.	53
Volume d'air aspiré par minute.	30 ^m 3
Section des clapets d'aspiration et de refoulement par fond.	0 ^m ,0120
Vitesse moyenne de l'air sur les clapets par seconde.	13 ^m ,000

3° CANALISATION D'AIR.

Le diagramme figuré ci-contre indique théoriquement le mode de circulation de l'air aspiré ou refoulé dans les réservoirs et le jeu des vannes destinées soit à isoler la machine qui est temporairement au repos,

soit à permettre le travail en circuit fermé. La conduite d'aspiration de l'air atmosphérique a 0^m,425 de diamètre intérieur et se termine par une cheminée verticale de 5 mètres de hauteur placée dans une courrette (Pl. I); cette disposition a pour but d'établir la prise d'air en dehors de l'atelier et à un point aussi élevé que possible, l'air voisin du sol étant toujours plus rapproché de son point de saturation.

Le diamètre exceptionnel donné à cette conduite a été choisi en prévision de l'installation d'une troisième machine Corliss à l'Hôtel des postes, le jour où le développement du service pneumatique nécessiterait la mise en marche simultanée de deux de ces machines. Toute la canalisation intérieure de l'Hôtel des postes a été disposée de manière que l'installation de cette troisième machine puisse se faire sans nécessiter le remplacement d'aucune des parties en service.

Les tuyaux qui relient les quatre compresseurs aux réservoirs d'air ont 0^m,300 de diamètre intérieur; tous les tuyaux sont en fonte de 15 millimètres d'épaisseur avec joints à brides boulonnées et mastiquées au minium.

Le peu de hauteur du sous-sol a obligé les constructeurs à placer au-dessus des compresseurs, dans le même plan horizontal, les quatre conduites contenant l'air atmosphérique (aspirations et expiration), l'air comprimé et l'air raréfié. Pour éviter les saillies disgracieuses et gênantes au point de vue de la circulation qu'eussent produits des coudes aux points d'intersection de ces différentes conduites, les ingénieurs du Creusot ont imaginé des culottes qui résolvent très heureusement le problème; les axes de deux conduites qui se croisent restent dans le même plan horizontal,

mais l'une des conduites forme autour de l'autre une sorte de renflement concentrique, et les deux masses d'air circulent sans se mélanger, l'une dans le tuyau intérieur, l'autre dans l'espace annulaire qui reste libre entre les deux enveloppes.

Les tuyaux d'air ont été mis en place avec une pente de 0^m,01 par mètre, dirigée des compresseurs vers les réservoirs, de manière à amener dans ces derniers l'eau de condensation; des purgeurs ont été disposés aux points bas de la première partie de la canalisation.

4° RÉSERVOIRS D'AIR COMPRIMÉ ET RARÉFIÉ.

L'air comprimé ou raréfié dans les compresseurs est amené par la double canalisation en tuyaux de 0^m,300 dans quatre réservoirs (Pl. I) dont un seul est affecté à l'air raréfié et les trois autres à l'air comprimé, ces trois derniers étant disposés comme les éléments d'une pile montée en quantité pour diminuer les effets de la résistance de l'air. Ces réservoirs sont placés dans les parties voûtées du sous-sol de l'Hôtel qui font suite aux soutes à charbon.

Chaque réservoir est formé de 19 viroles, dont 17 intermédiaires de 1 mètre de longueur, dans le sens de l'axe du réservoir, et 2 extrêmes de 750 millimètres terminées par des calottes bombées dont la flèche a 250 millimètres (Pl. III); la longueur totale du réservoir est ainsi de 19 mètres, son diamètre intérieur est de 2^m,20. Ce diamètre était commandé par les dimensions des ouvertures par lesquelles devaient passer les viroles pour arriver à leur emplacement définitif. Chaque réservoir porte sur l'une des viroles un trou d'homme

fermé par un plateau en fonte maintenu par des boulons; ces trous d'homme ont été disposés dans les plans verticaux tangents aux réservoirs, en face des baies qui font communiquer entre elles les différentes travées dans lesquelles sont placés les réservoirs, de manière à être facilement accessibles.

Les réservoirs sont construits en tôle d'acier galvanisée sur ses deux faces, de 7 millimètres d'épaisseur pour les viroles et de 11 millimètres pour les calottes bombées. Les tôles de chaque virole sont rivées sur des fers cornières circulaires tournés avec le plus grand soin sur les faces d'assemblage; la jonction de deux viroles se fait à l'aide de boulons, le joint est rendu complètement étanche par l'interposition d'un mastic au minium de 2 millimètres d'épaisseur au maximum. Deux viroles quelconques peuvent être substituées l'une à l'autre, sans qu'il soit besoin de retoucher les trous percés dans les cornières pour le boulonnage.

Les réservoirs sont placés sur des chantiers en bois de chêne disposés de manière à donner aux réservoirs une pente de 10 millimètres par mètre. Chaque virole des réservoirs d'air comprimé est percée, à son point le plus bas, d'une petite ouverture sur laquelle est branché un tuyau en cuivre destiné à recueillir l'eau condensée dans la virole. Tous ces tuyaux sont soudés sur un collecteur en cuivre muni de robinets; l'eau qu'il contient, sous la pression de l'air du réservoir, est refoulée dans un tuyau qui se déverse dans l'égout.

Sur chaque fonds embouti des réservoirs est rivée une tubulure de 0^m,300 de diamètre qui est boulonnée sur une conduite d'air. A cette tubulure sont rivés à l'intérieur du réservoir deux crans d'arrêt qui permettent de boucher l'orifice à l'aide d'un autoclave. On

peut ainsi isoler temporairement un réservoir, pour une réparation, sans interrompre la circulation de l'air dans les autres réservoirs.

A l'extrémité des réservoirs opposée à celle par laquelle se fait l'entrée de l'air, se trouvent les tuyaux de sortie de l'air disposés d'une manière absolument semblable. Mais les deux collecteurs sont munis de trois vannes, dont deux permettent d'isoler, en cas de besoin, les réservoirs de la canalisation extérieure à l'Hôtel; la troisième est destinée à vider, s'il en est besoin, les réservoirs d'air comprimé.

Le volume de chaque réservoir est d'environ 70 mètres cubes, son poids de 15.140 kilogrammes. Aux épreuves d'essai, ils doivent conserver, pendant vingt-quatre heures, de l'air comprimé à 4 atmosphères, sans que la déperdition puisse excéder $\frac{1}{4}$ d'atmosphère.

La construction des réservoirs d'air de l'Hôtel des postes a été adjugée, à la suite d'un concours, à la Société anonyme des Forges de Franche-Comté, dont le siège est à Besançon.

La pression de l'air dans les réservoirs de vide et de pression est indiquée par des manomètres Bourdon placés au centre de la salle des machines, sous les yeux des mécaniciens. Trois autres manomètres sont fixés contre la même colonne; l'un indique la pression de la vapeur dans le tuyau d'alimentation placé à la suite du détendeur, les deux autres indiquent la pression dans les condenseurs. Deux manomètres enregistreurs tracent, en outre, sur une feuille de papier divisée à l'avance, des courbes d'où on conclut aisément la valeur de la pression dans les réservoirs d'air à un instant quelconque de la journée; on a ainsi un con-

trôle très efficace sur la marche du service. Ces enregistreurs ne diffèrent du manomètre métallique ordinaire, système Bourdon, qu'en ce que le mouvement de l'extrémité du tube, au lieu de produire la rotation d'une aiguille au centre d'un cercle divisé, actionne un stylet mobile autour d'un axe horizontal et terminé par une pointe imprégnée d'une encre grasse. En face de cette pointe se trouve un cylindre recouvert d'une bande de papier divisée, et animé d'un mouvement de rotation autour de son axe par un mouvement d'horlogerie. Le cylindre faisant une révolution complète en vingt-quatre heures, on voit qu'en prenant les temps pour abscisses et la pression de l'air en centimètres de mercure pour ordonnées, la courbe tracée par la pointe sur la bande donne immédiatement la pression de l'air dans les réservoirs de vide et de pression à un instant quelconque de la journée.

Les dessins figurés sur la planche IV sont des fac-simile des courbes tracées par les enregistreurs, en service normal, le 11 octobre 1886. On voit qu'entre neuf heures du soir et minuit il existe un excès de force disponible qui sera absorbé prochainement par suite de l'adoption de diverses mesures de détail qui amélioreront le service après neuf heures du soir.

5° MACHINE AUXILIAIRE.

Une seule ligne pneumatique, celle de la Bourse au poste central, de 3^k,300 de longueur, fonctionnant de minuit à 7 heures du matin, avec des trains espacés de 1/4 d'heure en 1/4 d'heure, ce qui nécessite une dépense de force de 10 à 12 chevaux, il était plus éco-

nomique d'installer une petite machine spéciale pour le service de nuit, que de faire fonctionner, même à une très faible vitesse, une des machines Corliss. Le modèle adopté a été le type pilon, système Compound, employé dans les magasins du Printemps et pouvant développer une force de 30 à 40 chevaux effectifs; cette machine, verticale et à condensation, comprend deux cylindres à vapeur de diamètres différents avec distribution à tiroir, détente Meyer, réglable à la main, sur le petit cylindre, et régulateur Porter agissant directement sur les soupapes d'admission de la vapeur.

La description détaillée de cette machine se trouve dans la publication citée plus haut; toutefois, ainsi que nous venons de l'indiquer, la vapeur, au lieu de s'échapper à l'air libre, est condensée dans un condenseur alimenté en eau de l'Oureq.

Les données et dimensions principales de la machine sont :

Diamètre du petit cylindre.	0 ^m ,300
Id. du grand cylindre	0 ,435
Course commune des pistons.	0 ,350
Diamètre du volant.	2 ,000
Poids id.	1,000 ^k
Nombre de tours par minute.	80
Consommation maximum de vapeur par heure et par cheval indiqué.	9 ^k ,5

La vapeur qui alimente cette machine est prise par le collecteur général.

6° POMPES A AIR AUXILIAIRES.

L'arbre de couche horizontal de la petite machine pilon (Pl. I) actionne, à l'aide de courroies, deux pompes à air verticales du modèle usité dans les autres

ateliers de l'administration ; des fourchettes d'embrayage permettent de se servir à volonté de l'une ou de l'autre des deux pompes ou même de les faire travailler simultanément. Ces pompes, à simple effet, comprennent quatre cylindres conjugués deux à deux et dont une paire refoule l'air dans les réservoirs de pression tandis que l'autre l'aspire dans les réservoirs de vide. A la vitesse de 20 tours par minute, chacune de ces pompes débite environ $1^{\text{m}^3},900$ d'air à la pression de 116 centimètres de mercure et $2^{\text{m}^3},900$ d'air à la pression de 46 centimètres de mercure.

L'air comprimé et raréfié est versé dans les collecteurs qui aboutissent aux réservoirs d'air.

Les cylindres de chaque pompe plongent dans une fosse, où circule de l'eau de l'Ourcq prise dans la bache d'alimentation, pour refroidir l'air échauffé par la compression. Un robinet flotteur, disposé à l'intérieur de la première fosse, ferme l'orifice d'admission de cette eau lorsque le niveau atteint une hauteur déterminée. Cette eau, après avoir refroidi les cylindres placés dans la deuxième fosse, est aspirée par le condenseur de la machine pilon et refoulée ensuite avec l'eau de condensation de la vapeur dans la conduite d'évacuation à l'égout. Un tuyau qui débouche à la partie supérieure de la deuxième fosse et aboutit au puits artésien n° 1, déverse dans ce puits l'excédent de l'eau qui ne serait pas aspirée par le condenseur, dans le cas où le robinet flotteur de la première fosse ne fonctionnerait pas régulièrement.

Bien que les machines du service pneumatique, installées à l'Hôtel des Postes, aient été mises en service régulier depuis quatre mois à peine, la supériorité,

au point de vue économique, des nouveaux compresseurs, s'est affirmée d'une manière indiscutable. Il est donc probable que l'administration sera conduite, dans un avenir rapproché et malgré les dépenses de premier établissement considérables qui en résulteront, à remplacer successivement par des compresseurs de ce type les pompes à air qui fonctionnent dans les sept autres ateliers du service pneumatique à Paris.

Paris, 4 décembre 1886.

WÜNSCHENDORFF.

GALVANOMÈTRE PORTATIF A MIROIR

ET A ÉCHELLE MICROSCOPIQUE

M. A. Weinhold a récemment combiné un galvanomètre portatif dont les dispositions offrent plusieurs particularités intéressantes.

1° *Organes électriques.*

Sur un plateau en laiton P (*fig. 1*) est fixée une colonne verticale S qui porte un anneau évidé de même métal li muni d'appendices tubulaires sur lesquels viennent se visser les bâtis des deux bobines B, B (*fig. 2*). Dans ces mêmes appendices tubulaires sont vissés, d'une part un tube muni à son extrémité d'une forte plaque de cuivre rouge (épaisseur 7 millimètres), d'autre part un tube porte-lentille qui fait partie du système optique. La plaque de cuivre, la lentille et l'anneau de laiton R laissent dans l'évidement de celui-ci une cavité circulaire dans laquelle sont logés l'aimant en demi-cercle, et le miroir qui y est fixé (*fig. 1*). Une petite tige soutenant l'aimant traverse R et se termine par un œillet auquel s'attache le fil de cocon; au-dessous de l'œillet la tige porte une fenêtre rectangulaire (*fig. 2*) où passe un ressort vissé par un bout sur R et pressé à l'autre bout par la tige D. Un bouton molleté A et un ressort à boudin permettent de soulever D, ce qui amène le soulèvement du miroir et de l'aimant par le ressort, ou au

contraire d'abaisser ce dernier, ce qui rend, pour les mesures, la mobilité à l'équipage magnétique. L'étroitesse de l'espace presque fermé où se meut l'équipage et le voisinage immédiat de masses de cuivre et de laiton relativement considérables donnent un amortissement très rapide.

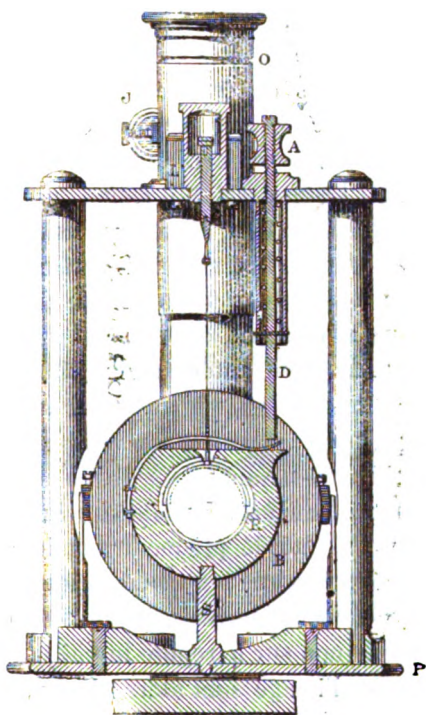


Fig. 1.

Au-dessous de la base, un manchon pouvant tourner à frottement doux sert d'axe à un système de deux aimants directeurs **MM** tournant à frottement dur sur le manchon indépendamment l'un de l'autre.

Des ressorts latéraux aux bobines les font communiquer avec les bornes de l'appareil fixées sur ébénite.

2° *Organes optiques.*

L'oculaire O, le prisme à réflexion totale soutenu par le support T et la lentille placée à l'intérieur des bobines forment une lunette brisée qui permet d'observer les déviations du trait de repère réfléchi par le miroir. L'image de ce repère vient se former sur la plaque transparente G qui porte une division micrométrique. Le repère lui-même est d'ailleurs formé par la prolongation, sous un prisme à réflexion totale, du trait zéro de la division. Le prisme, à section trapézoïdale, n'a que deux faces polies, celle à 45° et celle inférieure : il repose directement sur la plaque micrométrique. La face antérieure reçoit du miroir J la lumière extérieure, qui, renvoyée par la face à 45°, puis par le prisme T, arrive sur la face réfléchissante du miroir mobile en faisant ressortir, en noir sur fond éclairé, l'image du repère. Le faisceau lumineux renvoyé par le miroir sur le prisme T suit le chemin inverse du précédent, à une légère déviation près, ayant pour effet de ramener l'image du repère sur la division micrométrique et non sur le repère lui-même. L'échelle micrométrique et l'image sont alors observées à l'aide de l'oculaire O.

Le miroir J est supporté par une monture à la Cardan. Le pied T est mobile dans une glissière parallèle à l'axe des bobines. La partie tubulaire de la lunette brisée peut s'orienter dans un azimut quelconque autour de son axe. Enfin trois vis calantes et un niveau

sphérique à bulle d'air L permettent de mettre l'appareil d'aplomb.

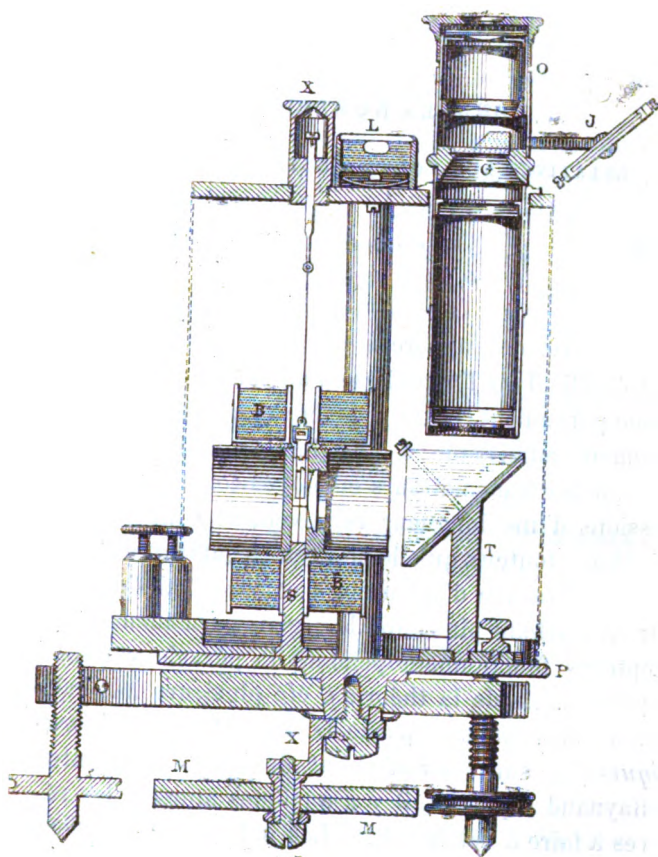


Fig. 2.

Les bobines sont données comme ayant chacune 1,000 tours et 90ω de résistance. La sensibilité varierait de 1 division pour 0, 000.0013 ampère jusqu'à 1 division pour 0, 000.00013 ampère, suivant les besoins.

G. T.

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES ET TÉLÉPHONIQUES

DONNÉES NUMÉRIQUES

RELATIVES AUX COEFFICIENTS D'INDUCTION

La théorie des appareils électriques est généralement établie dans l'hypothèse d'un courant parvenu au régime permanent. Cette première approximation était largement admissible à l'origine de la télégraphie, alors que les transmetteurs employés comportaient des émissions d'une longueur relativement considérable ; mais il est douteux qu'elle soit restée suffisante depuis la mise en œuvre d'appareils à courtes émissions : le courant n'atteint plus alors le régime permanent et les récepteurs fonctionnent pendant la période variable. Ce point faible de la théorie a été plusieurs fois indiqué, et, dans une note parue dans les *Annales télégraphiques* (*), sur l'enroulement des électro-aimants, M. Raynaud rappelait, il y a quelques années, les réserves à faire à cet égard : « Les indications que peut donner le calcul, en ce qui concerne la construction des électro-aimants, ne sont pas nombreuses et ne doivent être suivies qu'avec circonspection, à cause d'un certain nombre d'éléments importants dont on ne tient pas compte, la durée d'émission et les phéno-

(*) *Annales télégraphiques*, 1877, p. 585.

mènes de rémanence ou d'extra-courant, par exemple. »

Depuis lors, quelques cas spéciaux ont été étudiés, en particulier par M. O. Heaviside (*), mais à un point de vue théorique.

Parmi les phénomènes qui interviennent le plus directement dans les transmissions rapides figurent ceux relatifs à la self-induction. On peut s'en rendre facilement compte en examinant un cas des plus simples, celui d'un électro-aimant enregistreur fonctionnant en local sous l'influence de courants très brefs.

Soient :

R la résistance du circuit, non compris la pile ;

R' la résistance de la pile locale ;

E la force électromotrice de la pile ;

L le coefficient de self-induction total du circuit.

Si l'on prend pour origine des temps t le moment où le circuit est fermé, l'intensité i , du courant satisfait à la relation

$$(R + R')i + L \frac{di}{dt} = E;$$

d'où, en intégrant,

$$(1) \quad i = \frac{E}{R + R'} \left(1 - e^{-\frac{R + R'}{L}t} \right).$$

Pour un temps t de fermeture suffisamment grand, ce qui correspond au régime permanent, on retrouve bien l'équation ordinaire

$$i = \frac{E}{R + R'}.$$

Il n'en est pas de même si l'on considère les pre-

(*) *Journal of the Society of Telegraph Engineers*, Londres, 1878.

miers instants de la fermeture. Supposons, en effet, t très petit, de telle sorte que dans le développement de $e^{-\frac{R+R'}{L}t}$ en série on puisse négliger les termes d'un ordre de petitesse supérieur au premier; nous aurons sensiblement

$$e^{-\frac{R+R'}{L}t} = 1 - \frac{R+R'}{L}t.$$

L'équation (1) devient alors

$$(1') \quad i_1 = \frac{E}{L}t.$$

Au moment de la fermeture, la self-induction acquiert donc une importance prépondérante et la résistance proprement dite du circuit devient négligeable : tout se passe comme si l'on y avait substitué une résistance égale à $\frac{L}{t}$.

Si nous prenons t égal à la durée θ très faible de l'émission, et que celle-ci puisse être considérée comme cessant brusquement, nous admettrons comme intensité moyenne pendant l'émission la demi-intensité obtenue au moment de l'interruption instantanée et complète du circuit, c'est-à-dire

$$(2) \quad i'_1 = \frac{E}{L} \frac{\theta}{2}.$$

Dans ce qui précède nous n'avons fait aucune hypothèse sur le groupement des éléments de pile.

Soient maintenant $mn = k$ le nombre de ces éléments, ϵ et ρ la force électromotrice et la résistance de l'un d'eux, m et n représentant respectivement le nombre d'éléments associés en série et celui des séries groupées en dérivation l'une sur l'autre.

La formule (2) montre que la disposition la plus avantageuse en cas d'émissions brèves correspond au groupement de tous les éléments en série. L'intensité au bout d'un temps t est alors exprimée par

$$(3) \quad i_1 = \frac{k\varepsilon}{R + k\rho} \left(1 - e^{-\frac{R + k\rho}{L}t} \right) = \frac{mn\varepsilon}{R + mn\rho} \left(1 - e^{-\frac{R + mn\rho}{L}t} \right).$$

On sait, d'autre part, que dans l'hypothèse d'un courant permanent on obtient le maximum d'effet en rendant la résistance de la pile égale à celle de l'électro-aimant (les fils de jonction sont ici supposés sans résistance, et l'on admet que le nombre et la nature des éléments de pile se prêtent à cette combinaison). L'intensité satisfait en pareil cas à la formule

$$(4) \quad i_2 = \frac{m\varepsilon}{R + \frac{m\rho}{n}} \left(1 - e^{-\frac{R + \frac{m\rho}{n}}{L}t} \right),$$

où

$$\frac{m\rho}{n} = R.$$

Les courbes I et II de la *fig. A* ci-jointe offrent la traduction graphique des formules (3) et (4). Pendant

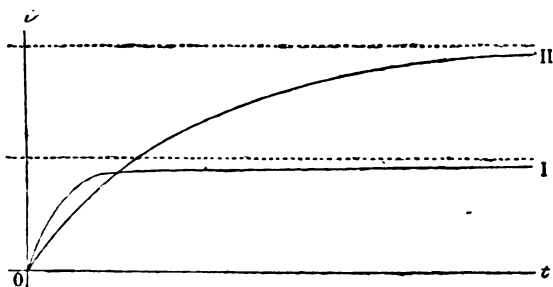


Fig. A.

les premiers moments de la fermeture du circuit, la

courbe I s'élève au-dessus de la courbe II, qui donne ensuite des intensités supérieures si le contact se prolonge. Le groupement habituellement indiqué comme le plus avantageux peut être tout à fait défavorable si les émissions sont très courtes.

La pratique confirme, d'ailleurs, les prévisions théoriques. L'expérience a déjà conduit à grouper en dérivation l'une sur l'autre les bobines des relais Wheatstone, et M. Preece citait dernièrement le cas de deux relais dont l'un permettait de transmettre 400 ou 450 mots par minute, tandis que l'autre n'en donnait que 50 ou 60 : le premier ne différait du second que par une self-induction moindre.

On peut remarquer également que dans les systèmes de télégraphie harmonique on est conduit à augmenter les piles de transmission au delà des limites généralement adoptées pour le service ordinaire : la même observation s'applique à l'appareil de MM. Foote, Randal et Anderson (*); le nombre d'émissions est, dans ces deux genres de transmission, très considérable et l'intensité en ligne n'est certainement pas celle que donnerait le calcul établi en tenant compte simplement de la résistance et dans l'hypothèse d'un courant permanent.

La self-induction n'est pas étrangère non plus aux détériorations produites par les coups de foudre dans les bobines des appareils télégraphiques. La décharge s'opérant brusquement, le facteur θ qui figure dans la formule (2) est très petit; $\frac{2L}{\theta}$ devient très grand et peut représenter une résistance au passage de l'étincelle

(*) *Annales télégraphiques*, 1880, p. 483.

supérieure à celle offerte par l'enveloppe en soie qui sépare le fil du noyau : ces brûlures d'électro-aimants sont moins fréquentes dans ceux où la carcasse de la bobine est en bois, au lieu d'être métallique et en communication directe avec la terre. Pour les paratonnerres d'édifices eux-mêmes, la self-induction peut n'être pas négligeable et, sans attribuer à cet élément une influence prédominante, M. von Helmholtz et sir William Thomson, dans une discussion sur les paratonnerres au Congrès de Paris (*), ont eu soin d'en rappeler l'existence.

Ce qui précède tendrait à faire supposer que la self-induction exerce toujours une influence nuisible ; il n'en est rien, car, en certains cas, au contraire, on doit chercher à l'accroître. Nous prendrons pour exemple le système télégraphique de M. Delany (**). On se rappelle que (***), grâce à l'inertie mécanique des pièces et à la self-induction du récepteur, la palette de celui-ci subit une attraction continue alors que l'électro-aimant est parcouru par des courants très brefs *se succédant à intervalles* rapprochés. Il faut, pour obtenir cet effet, donner aux électro-aimants récepteurs une self-induction considérable, en même temps que l'on l'on établit, en dérivation entre leurs bornes, des condensateurs.

Nous rappellerons enfin que la self-induction joue un rôle important dans les machines dynamo-électriques et qu'il est impossible d'étudier les transmissions téléphoniques avec une certaine précision sans connaître

(*) Congrès international des Électriciens, 1881 (*Comptes rendus des séances*).

(**) *Annales télégraphiques*, 1886, p. 419.

(***) *Annales télégraphiques*, 1886, p. 458.

les données relatives aux appareils (téléphones et microphones) tant au point de vue de la self-induction qu'à celui de l'induction mutuelle. L'un d'entre nous, dans une Note sur les transmissions téléphoniques (*), a mis en évidence le rôle considérable que jouent ces éléments; il se propose de reprendre prochainement la même question, en tenant compte de la self-induction des lignes, aussi bien que de leur résistance et de leur capacité.

Résultats numériques.

Bien que nous n'ayons pas l'intention d'examiner aujourd'hui les divers problèmes indiqués ci-dessus et que nous nous réservions d'aborder séparément l'étude de plusieurs d'entre eux, nous croyons utile de faire connaître, dès maintenant, les résultats numériques obtenus dans une première série d'expériences et le principe des méthodes employées. Nous n'avons eu encore entre les mains qu'un nombre restreint d'appareils; mais, comme les données à ce sujet sont fort rares, nous pensons que celles-ci présenteront quelque intérêt.

Voici les résultats en question; nous désignons par B la résistance, par L le coefficient de self-induction et par M le coefficient d'induction mutuelle des appareils. (Voir plus loin la description des méthodes et la définition des autres notations.)

1. *Électro-aimant avec noyau, enveloppe et joues en fer (n° II) pour l'application du système Van Rysselberghe (méthode du galvanomètre différentiel, 15 avril) :*

(*) *Annales télégraphiques*, 1884, p. 185 et 463.

$$B = 505\omega,$$

$$r = 1.500\omega, \quad \left\{ \begin{array}{l} c = 0, \quad \alpha = 49, \\ c = 57, \quad \alpha = -42,5, \end{array} \right\} \quad L = 6,02.$$

2. *Électro-aimant semblable* (galv. diff., 15 avril) :

$$B = 500\omega, \quad L = 7,27.$$

3. *Électro-aimant semblable* (galv. diff., 16 avril) :

$$B = 500\omega, \quad L = 5,07.$$

4. *Électro-aimant semblable* (pont de Wheatstone, 28 septembre) :

$$B = 508\omega, \quad L = 8,14.$$

5. *Électro-aimant semblable* (pont de Wheatstone, 28 septembre) :

$$B = 519 \quad L = 8,04.$$

6. *Électro-aimant semblable* (pont de Wheatstone, 28 septembre) :

$$B = 518 \quad L = 7,38.$$

7. *Électro-aimant semblable* [2^e fourniture] (pont de Wheatstone, 28 septembre) :

$$B = 523 \quad L = 9,75.$$

8. *Électro-aimant semblable* [2^e fourniture] (pont de Wheatstone, 29 septembre) :

$$B = 520 \quad L = 8,40.$$

9. *Électro-aimant semblable* [2^e fourniture] (pont de Wheatstone, 29 septembre) :

$$B = 524\omega, \quad L = 10.$$

10. *Électro-aimant semblable, mais de résistance environ moitié* (pont de Wheatstone, 29 septembre) :

$$B = 265\omega, \quad L = 4,11.$$

11. *Électro-aimant semblable au précédent* (pont de Wheatstone, 29 septembre) :

$$B = 261\omega, \quad L = 3,72.$$

12. *Électro-aimant semblable au précédent* (pont de Wheatstone, 29 septembre) :

$$B = 260\omega, \quad L = 4,31.$$

13. *Électro-aimant semblable au précédent (pont de Wheatstone, 29 septembre) :*

$$B = 254 \omega, \quad L = 3,96.$$

14. *Électro-aimant d'appareil Morse tout monté avec la palette reposant sur le butoir de repos (galv. diff., 8 mai) :*

$$B = 500 \omega, \quad L = 6,37.$$

15. *Bobine d'appareil Morse avec noyau (pont de Wheatstone, 4 septembre) :*

$$B = 250 \omega, \quad L = 1,94.$$

La même avec la culasse, l'armature et le noyau de l'autre formant avec le sien un circuit fermé en fer :

$$L = 4,4.$$

16. *Électro-aimant d'appareil Morse, sans armature, avec culasse; pas de rondelles de cuivre entre les noyaux et la culasse (pont de Wheatstone, 21 septembre) :*

$$B = 500 \omega, \quad L = 7,5.$$

Le même avec armature au contact :

$$L = 13,7.$$

17. *Électro-aimant d'appareil Morse avec culasse et sans armature (pont de Wheatstone, 21 septembre) :*

$$B = 445 \omega, \quad L = 5.$$

Avec armature au contact :

$$L = 8,09.$$

18. *Électro-aimant d'appareil Morse avec culasse et sans armature (pont de Wheatstone, 28 septembre) :*

$$B = 494 \omega, \quad L = 6,58.$$

Avec armature au contact :

$$L = 11,29.$$

Culasse d'un autre électro-aimant substituée à l'armature précédente : même résultat.

19. *Électro-aimant d'appareil Morse avec culasse et sans armature (pont de Wheatstone, 28 septembre) :*

$$B = 517 \omega, \quad L = 7,14.$$

Avec armature au contact :

$$L = 11,80.$$

20. *Électro-aimant d'appareil Morse* (pont de Wheatstone, 7 juin).

Bobine 1 sans noyau de fer doux :

$$B = 242, \quad L = 0,233.$$

Bobine 2 sans noyau :

$$B = 242. \quad L = 0,265.$$

Les deux bobines en dérivation l'une sur l'autre, sans noyaux :

$$B = 121 \quad L = 0,127.$$

Bobine 1 avec noyau :

$$L = 6,66.$$

Bobine 2 avec noyau :

$$L = 1,71.$$

Les deux bobines en série avec noyaux et culasse, le courant passant dans chacune d'elles dans le même sens que précédemment :

$$L = 6,37.$$

Même disposition, mais avec l'armature reposant sur les noyaux :

$$L = 10,68.$$

Même disposition, une épaisseur de papier entre les noyaux et l'armature :

$$L = 9,63.$$

Même disposition, trois épaisseurs du même papier :

$$L = 8,969.$$

(Ces expériences relatives à la fermeture plus ou moins complète du circuit magnétique seront continuées.)

21. *Électro-aimant d'appareil Hughes*. — Palette maintenue au contact sans interposition de papier; pas de fer doux (pont de Wheatstone, 29 septembre) :

$$B = 1.245 \omega, \quad L = 11,72.$$

22. *Relais Mandroux*, pour la transmission à l'appareil Hughes entre Marseille et Alger, bobines en série (pont de

Wheatstone, 8 novembre) :

$$L = 16,36.$$

23. *Galvanomètre récepteur à miroir, pour câbles :*

$$B = 4.344 \omega, \quad L = 3,8.$$

(Les résultats trouvés ont été les mêmes que le miroir fût en place ou non ; la valeur de L n'est d'ailleurs pas déterminée avec une grande précision, les impulsions n'ayant pas atteint 5 millimètres).

24. *Relais Baudot simple*, armature en place (pont de Wheatstone, 29 septembre) :

$$B = 193 \omega, \quad L = 0,943.$$

25. *Relais Baudot différentiel*, armature en place (pont de Wheatstone, 7 septembre).

Circuit n° 1 :

$$B = 280 \omega, \quad L = 0,394.$$

Circuit n° 2 :

$$B = 280 \omega, \quad L = 0,392.$$

Les deux circuits en dérivation :

$$B = 140 \omega, \quad L = 0.$$

26. *Électro-aimants aiguilleurs* pour appareil Baudot.

N° 1 :

$$B = 32 \omega, \quad L = 0,121.$$

N° 2 :

$$B = 34, \quad L = 0,126.$$

N° 3 :

$$L = 0,103.$$

N° 1 et 2 en dérivation l'un de l'autre :

$$L = 0,05.$$

27. *Récepteur Wheatstone* (pont de Wheatstone, 13 nov.).

Circuit complet $L - T$:

$$B = 1.126 \omega, \quad L = 15,77.$$

Circuit $L - Tr$:

$$B = 563 \omega, \quad L = 3,6.$$

Circuit $Tr - T$:

$$B = 563 \omega, \quad L = 3,6.$$

28. *Autre récepteur Wheatstone* (pont de Wheatstone, 17 novembre).

Circuit complet L — T :

$$B = 1.261, \quad L = 20,54.$$

Circuit L — Tr :

$$B = 635, \quad L = 4,83.$$

Circuit Tr — T :

$$L = 4,66.$$

29. *Relais translateur d'Arincourt*, type ordinaire (pont de Wheatstone, 18 novembre).

Electro-aimant récepteur n° 1 :

$$B = 908 \omega, \quad L = 12,98.$$

Electro-aimant récepteur n° 2 :

$$B = 1.015 \omega, \quad L = 17,06.$$

Electro-aimant de coup de fouet n° 1 :

$$B = 37 \omega, \quad L = 0,70.$$

Electro-aimant de coup de fouet n° 2 :

$$B = 39 \omega, \quad L = 0,90.$$

Electro-aimant de parleur n° 1 :

$$B = 481, \quad L = 4,0.$$

Electro-aimant de parleur n° 2 :

$$B = 478, \quad L = 5.$$

30. *Relais d'Arincourt, modification Willot* (pont de Wheatstone, 19 novembre) :

Electro-aimant récepteur Willot n° 1 :

$$B = 456 \omega, \quad L = 3,80.$$

Electro-aimant récepteur Willot n° 2 :

$$B = 456 \omega, \quad L = 4,28.$$

31. *Bobine avec trois enroulements semblables, les trois circuits enroulés ensemble côte à côte; résistance de chacune 200 ω* (pont de Wheatstone, 7 et 8 juin).

Circuit n° 1 :

$$L = 0,465.$$

Circuits 1 et 2 en série :

$$L = 1,76 \text{ (nombre voisin de la valeur : } 4 \times 0,465\text{).}$$

Circuits 1, 2 et 3 en série :

$$L = 3,94 \text{ (nombre voisin de : } 9 \times 0,465\text{).}$$

32. *Annonciateur Sieur pour postes téléphoniques* (pont de Wheatstone, 8 juin) :

$$B = 179 \, \omega, \quad L = 0,915.$$

33. *Annonciateur* (pont de Wheatstone, 10 juin) :

$$B = 53 \, \omega, \quad L = 0,226.$$

34. *Annonciateur Sieur de 493 ω de résistance*, devant avoir au repos l'armature au contact (pont de Wheatstone, 1^{er} oct.).

Armature au repos :

$$L = 2,5.$$

35. *Annonciateur genre Sieur, enroulement différentiel*, fonctionnant par attraction de l'armature.

Armature au repos, c'est-à-dire non en contact.

Circuit n° 1 :

$$B = 202 \, \omega, \quad L = 0,52.$$

Circuit n° 2 :

$$B = 199 \, \omega, \quad L = 0,49.$$

36. *Téléphone récepteur Goloubitzky* (pont de Wheatstone, 29 mai) :

$$B = 570 \, \omega,$$

$$r = 500 \, \omega, \quad \left\{ \begin{array}{l} c = 0, \quad \alpha = -1,75, \\ c = 4 \, \varphi, \quad \alpha = 11,75, \end{array} \right\} \quad L = 0,13.$$

37. *Téléphone récepteur d'Arsonval* (pont de Wheatstone, 29 mai) :

$$B = 219 \, \omega, \quad L = 0,15.$$

38. *Téléphone récepteur Colson, format montre* (pont de Wheatstone, 31 mai) :

$$B = 206 \, \omega, \quad L = 0,112.$$

39. *Téléphone récepteur Boisselot* (pont de Wheatstone, 31 mai) :

$$B = 87 \, \omega, \quad L = 0,026.$$

40. *Téléphone récepteur Ochrowicz* (pont de Wheatstone,

31 mai) :

$$B = 268 \omega, \quad L = 0,129.$$

41. *Téléphone récepteur Ader, petit modèle, anneau à section circulaire* (pont de Wheatstone, 4 juin) :

$$B = 83 \omega, \quad L = 0,033.$$

42. *Téléphone récepteur Ader, modèle ordinaire* (pont de Wheatstone, 4 juin) :

$$B = 50 \omega, \quad L = 0,021.$$

43. *Téléphone récepteur Siemens* (pont de Wheatstone, 5 juin) :

$$B = 227 \omega, \quad L = 0,17.$$

44. *Téléphone récepteur Teilloux* (pont de Wheatstone, 9 juin) :

$$B = 197 \omega, \quad L = 0,101.$$

45. *Téléphone récepteur Sieur, format montre* (pont de Wheatstone, 9 juin) :

$$B = 212 \omega, \quad L = 0,118.$$

46. *Bobine d'induction pour poste central téléphonique* (galv. diff. pour la self-induction, 16 et 17 avril).

Induit :

$$B = 200 \omega, \quad L = 1,105.$$

Inducteur :

Impulsion inappréciable.

Induit et inducteur :

$$M = 0,14.$$

47. *Bobine d'induction à deux induits indépendants, deux noyaux en tube de fer fendu, pour système Van Rysselberghe* (galv. diff. pour la self-induction, 16 et 17 avril).

Induit n° 1 :

$$B = 305 \omega, \quad L = 0,75.$$

Induit n° 2 :

$$B = 311 \omega, \quad L = 0,81.$$

Inducteur :

$$B = 163 \omega, \quad L = 0,74.$$

Induit n° 1 et inducteur :

$$M = 0,58.$$

Induit n° 2 et inducteur :

$$M = 0,64.$$

Induits n° 1 et 2 et inducteur :

$$M = 1,27.$$

(Nous donnons ces derniers résultats malgré une erreur qui a dû s'introduire dans les mesures.)

48. *Bobine d'induction de microphone d'Arsonval* (pont de Wheatstone pour la self-induction, 15 avril et 31 mai) :

Induit :

$$B = 150\omega, \quad L = 0,43.$$

Inducteur :

$$B = 1,5, \quad L = 0,0067.$$

Induit et inducteur :

$$M = 0,05.$$

49. *Autre bobine d'induction semblable* (pont de Wheatstone, 9 juin).

Induit :

$$L = 0,77.$$

Inducteur :

$$L = 0,006.$$

MÉTHODES DE MESURE.

Le principe des méthodes que nous avons employées a déjà été décrit dans les *Annales télégraphiques* (1885, page 232). Ces méthodes sont celles du galvanomètre différentiel et du pont de Wheatstone pour la mesure de la self-induction, et une méthode spéciale de réduction à zéro pour l'induction mutuelle.

Galvanomètre différentiel. — La *fig. 1* montre le dispositif employé. L est la bobine ou l'appareil à mesurer, C un condensateur en dérivation entre les extrémités A et B d'un rhéostat r sans self-induction sensible, S un shunt de pile; ff' un fil métallique

tendu, le long duquel se meut le curseur à contact K.

On abaisse la clef de pile M; puis au moyen du

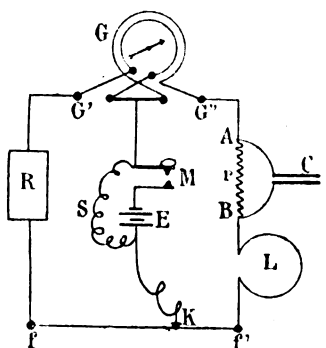


Fig. 1.

rhéostat variable R on établit à peu près l'équilibre du courant dans les deux branches du galvanomètre. On supprime alors le shunt de pile S pour augmenter la sensibilité de la mesure et l'on achève le réglage de l'équilibre au moyen du curseur K. L'équilibre étant établi, c'est-à-dire l'aiguille du galvanomètre étant au zéro, on relève la clef M. Le courant cesse et l'on observe l'impulsion α de l'aiguille.

On répète cette opération en remplaçant simplement la capacité C par une autre quelconque C'. Soit α' la nouvelle impulsion. On sait (*) que l'on a :

$$\frac{L - Cr^2}{\alpha} = \frac{L - C'r^2}{\alpha'},$$

d'où :

$$L = \frac{C'\alpha - C\alpha'}{\alpha - \alpha'}, r^2.$$

Comme vérification, on peut prendre pour la capacité une troisième valeur C''. On obtient ainsi une nouvelle

(*) *Annales télégraphiques*, 1885, p. 234.

impulsion α'' et par suite une nouvelle expression de L , qui doit donner la même valeur que la précédente.

Exemple : Électro-aimant de 500 ω de résistance (n° 3 du tableau des données numériques) :

$$r = 1500 \left\{ \begin{array}{lll} C = 0 & = 0 & \alpha = + 42 \\ C' = 3^{\text{microfarads}} & = 3 \times 10^{-6} & \alpha' = - 14 \\ C'' = 5^{\text{mf}} & = 5 \times 10^{-6} & \alpha'' = - 51 \end{array} \right.$$

En combinant les données (C, α) et (C', α') , on trouve : $L = 5,06$. La combinaison de (C, α) avec (C'', α'') donne : $L = 5,08$. On a adopté la moyenne : $L = 5,07$. — La résistance du galvanomètre était de 8.000 ohms environ, et celle du rhéostat R était de 2000 ω . Mais on voit qu'il n'était pas nécessaire de les connaître, non plus que la résistance des parties fK et Kf du fil.

Pour de grandes valeurs du coefficient L , on a avantage à opérer comme il suit : Prendre $C = 0$, ce qui donne une forte impulsion α . Puis chercher par tâtonnement une valeur C' qui donne une impulsion α' aussi faible que possible. On a alors :

$$L = C'r^2 \left(1 + \frac{\alpha'}{\alpha - \alpha'} \right).$$

C'est là une méthode de réduction à zéro, avec l'addition d'un terme correctif $\frac{\alpha'}{\alpha - \alpha'}$, lorsque la déviation α' ne peut être annulée pour une des valeurs de la capacité dont on dispose (Dans nos expériences, C était un excellent condensateur de 5 microfarads gradué par centièmes de microfarads). Cette réduction à zéro supprime les erreurs résultant de la variation de la pile entre deux lectures α et α' , d'une graduation défectueuse du galvanomètre, etc.

Nous avons supposé jusqu'ici implicitement que la

self-induction des parties du circuit autres que L était négligeable. S'il n'en est pas ainsi, notamment lorsque L a une faible valeur, il y a lieu de réduire α et α' de la valeur α_0 de l'impulsion que l'on obtient en remplaçant L par une bobine de même résistance et de self-induction négligeable et en faisant $C = 0$. On a alors :

$$\frac{L - Cr^2}{\alpha - \alpha_0} = \frac{L - Cr^2}{\alpha' - \alpha_0}.$$

Dans le cas où L serait un fil rectiligne, la correction α_0 ne serait pas suffisante et cette méthode ne serait pas applicable.

Si l'on veut se rendre compte de la *sensibilité* et de la *précision* de la méthode précédente, on est amené à calculer : 1° l'impulsion α due à la self-induction L (pour $C = 0$) ; 2° la déviation δ due au courant permanent qui vient gêner les mesures, lorsque l'équilibre ne peut être atteint, la position du curseur K étant distante de la position voulue d'une longueur infiniment petite correspondant à une résistance ρ de fil. En désignant par g la résistance totale du galvanomètre ; par $\left(R + \frac{g}{2}\right)$ celle d'une branche du circuit différentiel ; par p celle de la pile ; par E la force *e. m.* ; enfin A l'impulsion que donne dans le galvanomètre une décharge de 1 coulomb, et par Δ la déviation que donne un ampère ; on trouve facilement, réductions faites :

$$\alpha = \frac{A \cdot E}{2 \left(R + \frac{g}{2}\right) \left(2p + R + \frac{g}{2}\right)},$$

$$\frac{\delta}{\alpha} = \frac{\Delta}{A} \cdot \frac{2\rho}{L}.$$

Pour augmenter la *sensibilité*, il faut augmenter α ,

ce qu'on peut faire en accroissant la force *e. m.* *E* et en réduisant *R*, et par suite *r*, au minimum nécessaire. Pour avoir le maximum de *précision*, il faut réduire le plus possible $\frac{\delta}{\alpha}$. On voit que la précision sera d'autant plus faible que le coefficient *L* à mesurer sera plus faible, que la constante Δ de courant permanent sera plus forte comparativement à la constante *A* de charge, et enfin que la résistance ρ d'une longueur donnée du fil *ff'* sera plus grande.

Dans nos expériences, les déviations Δ et *A*, lues sur une échelle placée à 1 mètre du miroir du galvanomètre, étaient respectivement de 1000 et de 400 *mm*. On pouvait admettre pour ρ la valeur 0^{re},001; par suite : $\frac{\delta}{\alpha} = \frac{0,0008}{L}$. — Enfin la pile se composait d'un élément Callaud (*E* = 1^v et *p* = 5 ω environ); le courant dans le circuit différentiel ne pouvait donc dépasser 0^{amp},00025.

Pont de Wheatstone. — La *fig. 2* montre en quoi ce

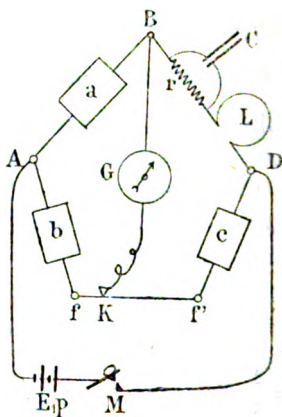


Fig. 2.

dispositif diffère du précédent. La bobine L , la résistance r et le condensateur C sont placés dans une branche du pont. La manœuvre des clefs M et K est exactement la même que plus haut, le rhéostat variable c servant au réglage de l'équilibre. On fait les lectures α , α' , α'' , ... comme il a été indiqué, et l'on a :

$$L = \frac{Cx - Cx'}{\alpha - \alpha'} r^2.$$

Les diverses remarques faites au sujet du galvanomètre différentiel s'appliquent ici, sauf en ce qui concerne les conditions de sensibilité et de précision, que nous allons étudier spécialement.

Si R désigne la résistance totale de la branche BD , on trouve pour α et $\frac{\delta}{\alpha}$, en tenant compte de la relation : $\frac{c}{b} = \frac{R}{a}$,

$$\alpha = \frac{ALE.ab}{[p(a+b) + b(a+R)][g(a+R) + R(a+b)]}.$$

$$\frac{\delta}{\alpha} = \frac{\Delta}{\Lambda} \cdot \frac{\rho}{L} \cdot \frac{R+a}{b}.$$

En choisissant convenablement les branches a et b , on peut améliorer beaucoup les conditions de l'expérience. En particulier, si l'on compare ces formules avec les formules analogues trouvées plus haut, on voit que la valeur actuelle de $\frac{\delta}{\alpha}$ est égale à la précédente multipliée par $\frac{R+a}{2b}$. Donc en prenant b assez grand par rapport $(R+a)$, on peut réduire $\frac{\delta}{\alpha}$ autant

qu'on le veut, ce que l'on ne peut pas dans la méthode du galvanomètre différentiel. Celle-ci est donc inférieure en général à celle du pont de Wheatstone, d'autant qu'elle est sujette à une cause spéciale d'erreurs provenant de la non identité des deux branches du galvanomètre.

L'examen de la formule de $\frac{\delta}{\alpha}$ montre : 1° que le défaut d'équilibre du pont est d'autant plus gênant que le coefficient L est plus faible ; 2° que, $\frac{\delta}{\alpha}$ représentant l'erreur relative due au défaut d'équilibre, l'erreur absolue $L \frac{\delta}{\alpha}$ est indépendante de L ; 3° que l'on a intérêt à prendre un fil ff' dont la résistance p pour une longueur donnée soit le plus faible possible ; 4° que l'on a avantage à prendre un galvanomètre tel, et à donner aux branches R , a et b du pont des résistances telles que $\frac{\Delta}{A}$ et $\frac{R+a}{b}$ soient réduits le plus possible, à la condition toutefois que la valeur de α soit encore assez grande. — Enfin la comparaison de la valeur de $\frac{\delta}{\alpha}$ avec celle que l'on obtiendrait si le fil ff' et le curseur K étaient placés au sommet B montre que le fil ff' doit être placé dans celle des deux dérivations $(b+c)$ et $(a+R)$ qui est la plus résistante.

La formule de α fait connaître les conditions de sensibilité maximum. Ainsi α dépend :

1° De la pile (E , p). On peut écrire : $\alpha = h \frac{E}{p+h}$, en posant $h' = \frac{b(a+R)}{a+b}$. Il est donc facile de voir quel

type de pile ou quel groupement des éléments donnera les plus grandes impulsions α . En réalité, on n'a pas intérêt à accroître indéfiniment l'intensité du courant, tant à cause de l'échauffement du circuit et de l'altération de la résistance r qui en résulte, qu'à cause de la variation de la pile dans l'intervalle des lectures α et α' , si l'on n'a pas recours à la réduction à zéro;

2° Du galvanomètre (A, g). On peut écrire : $\alpha - k \frac{A}{g + k'}$, en posant $k' = \frac{R'a + b}{a + R}$. Entre plusieurs galvanomètres, on choisira donc celui pour lequel k' sera le plus grand, à la condition que $\frac{\delta}{\alpha}$ ne devienne pas supérieur à une certaine limite assignée. Si, en particulier, l'on dispose d'un galvanomètre à circuits multiples groupables en tension ou en quantité, on se rapprochera le plus possible de la condition : $g = k'$;

3° De R , c'est-à-dire de la résistance totale de la branche BD. En diminuant R , on fait croître α et décroître $\frac{\delta}{\alpha}$, conditions favorables l'une et l'autre. On aurait donc intérêt à prendre $r = 0$, si l'on n'était obligé de donner à r une certaine valeur minimum pour que l'effet de la capacité C , lequel est proportionnel à Cr^2 , ne devienne pas trop faible. — On pourrait, il est vrai, prendre $r = 0$, à la condition d'établir le condensateur C en dérivation aux bornes du rhéostat c ; il faudrait alors remplacer $(L - Cr^2)$, dans les formules, par $(L - C \frac{ac^2}{a + b})$. A la rigueur même, on peut se passer du condensateur C et employer, pour calculer L , la formule de α ci-dessus; mais il faut connaître alors les valeurs de A, g, E, p, a, b, R ;

4° Le choix de la pile et du galvanomètre étant fait et la résistance R étant déterminée, on peut encore faire varier les branches a et b . Lorsque a seul varie, le maximum de α a lieu pour

$$a = \sqrt{bR \frac{(g + b)(p + R)}{(g + R)(p + b)}};$$

si, au contraire, b varie seul, le maximum de α correspond à

$$b = \sqrt{\frac{ap}{R} \cdot \frac{R(a + g) + ag}{a + p + R}}.$$

Ces deux conditions combinées donnent

$$a = \sqrt{gR \frac{p + R}{g + R}},$$

$$b = \sqrt{pg},$$

et la valeur correspondante de α , laquelle est maximum, est

$$\alpha = \frac{ALE}{[\sqrt{(p + R)(g + R)} + \sqrt{pR} + \sqrt{gR}]^2}.$$

Toutefois, ces valeurs de a et de b ne peuvent être admises si elles entraînent une valeur trop grande pour $\frac{R + a}{b}$ et par suite pour $\frac{\delta}{\alpha}$.

Pour tenir compte de la condition que $\frac{R + a}{b}$ ne doit pas dépasser une certaine valeur, ε par exemple, au lieu de considérer a et b comme indépendants l'un de l'autre dans la recherche du maximum de sensibilité, on peut poser $\frac{R + a}{b} = \varepsilon$, ce qui conduit, il est vrai, à une équation compliquée. En posant simplement

$\frac{a}{b} = \varepsilon$, ce qui conduit en général à des valeurs admissibles, on trouve que le maximum de α correspond à

$$a = \sqrt{gR\varepsilon \cdot \frac{R + p(1 + \varepsilon)}{R(1 + \varepsilon) + g\varepsilon}},$$

$$b = \sqrt{\frac{gR}{\varepsilon} \cdot \frac{R + p(1 + \varepsilon)}{R(1 + \varepsilon) + g\varepsilon}}.$$

En combinant convenablement les branches du pont dans nos expériences, nous avons pu, grâce à la sensibilité du galvanomètre et à la précision des lectures sur une échelle transparente, mesurer un coefficient de self-induction égal à 0,006 (expériences n^{os} 48 et 49) à $\frac{1}{10}$ près sûrement, en employant un courant de moins de 0^{amp},005; et nous aurions pu facilement pousser plus loin la sensibilité et la précision de la méthode. La précision est d'ailleurs beaucoup plus grande pour des coefficients plus élevés.

Mesure d'un coefficient d'induction mutuelle. —

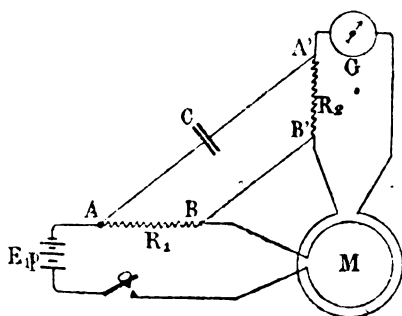


Fig. 3.

Formons deux circuits (*fig. 3*) : l'un, inducteur, comprenant le fil primaire de la bobine M, la pile (E, p),

un rhéostat R_1 et une clef; le deuxième, induit, comprenant le fil secondaire de M , un galvanomètre G et un rhéostat R_2 . Relions les bornes A et B du premier rhéostat respectivement à celles, A' et B' , du second, le fil AA' étant coupé par un condensateur C .

Lorsqu'on ferme le circuit inducteur, le galvanomètre subit une impulsion α due tant au courant induit qu'à la charge du condensateur. A l'ouverture du circuit primaire, on doit avoir une impulsion α égale et de sens contraire. Si l'on répète cette opération, après avoir remplacé la capacité C par C' , on aura une autre lecture α' . En désignant par M le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits, on a

$$\frac{M - CR_1R_2}{\alpha} = \frac{M - C'R_1R_2}{\alpha'},$$

d'où

$$M = \frac{C'\alpha - C\alpha'}{\alpha - \alpha'} R_1 R_2.$$

si M est assez grand, on prendra d'abord $C = 0$; puis on cherchera par tâtonnement la valeur C' qui donne une impulsion α' sinon nulle, du moins aussi faible que possible. On aura alors

$$M = C'R_1R_2 \left(1 + \frac{\alpha'}{\alpha - \alpha'} \right).$$

C'est une réduction à zéro, avec un terme correctif $\frac{\alpha'}{\alpha - \alpha'}$ s'il y a lieu.

Pour $C = 0$, il est facile de voir que α est donné par la formule

$$\alpha = \frac{AME}{(p + R_1)(g + R_2)},$$

A étant la constante de charge du galvanomètre, p

comprenant la résistance de la pile et celle du fil primaire de la bobine, g celles du galvanomètre et du fil secondaire. Cette formule fait connaître les conditions nécessaires pour le maximum de sensibilité.

D'abord, C' étant la capacité qui doit donner une déviation α' nulle, on a : $M = C'R_1R_2$; et, comme M a une valeur déterminée, R_1R_2 et C' sont en raison inverse l'un de l'autre. On donnera donc à C' la plus grande valeur dont on dispose afin de diminuer le plus possible R_1 et R_2 , ce qui augmente α .

Ensuite, pour cette valeur de C' , le produit R_1R_2 , ayant une grandeur déterminée, la formule montre que le maximum de α correspond à

$$\frac{R_1}{p} = \frac{R_2}{g} = \sqrt{\frac{M}{C'pg}},$$

et cette valeur maximum de α est

$$\alpha_m = \frac{AME}{\left(\sqrt{pg} + \sqrt{\frac{M}{C'}}\right)^2}.$$

Enfin, si l'on a le choix entre plusieurs galvanomètres, plusieurs types de pile ou divers groupements d'éléments, la formule de α_m fera connaître les conditions les plus avantageuses. Ce choix étant fait ainsi que celui de C' , on attribuera à R_1 et R_2 les valeurs qui correspondent au maximum de sensibilité. Il faut pour cela avoir déjà une valeur rapprochée de M .

Ces tâtonnements pour obtenir le maximum de sensibilité compliquent certainement les mesures. Mais on peut trouver avantage à y recourir lorsque la valeur de M est faible et donne de faibles impulsions.

On éprouve une cause de gêne et d'erreur, quelquefois notable, dans les mesures, lorsque les fils pri-

maire et secondaire de la bobine M sont mal isolés l'un de l'autre.

Dans toutes les mesures d'induction, à moins d'avoir recours à des formules généralement extrêmement compliquées, il faut : 1° placer les bobines ou appareils à mesurer de telle sorte qu'ils n'influencent pas directement le galvanomètre et n'exercent pas d'action sur le reste du circuit; 2° s'assurer que la self-induction ou l'induction mutuelle que l'on néglige pour les autres parties du circuit n'ont pas une valeur sensible et n'altèrent pas les résultats. — Dans nos expériences, les bobines à mesurer étaient éloignées à une distance suffisante; elles étaient reliées au circuit général par deux fils tordus ensemble et n'exerçant par conséquent aucune induction.

Il existe un certain nombre d'autres méthodes de mesure d'induction que l'on trouvera décrites dans Maxwell ou dans la Thèse de physique de M. Brillouin. Par exemple, si l'on possède des bobines de coefficients bien connus déjà, on pourra leur comparer les bobines à mesurer par le pont de Wheatstone ou autrement. L'emploi de ces bobines-étalons remplace celui du condensateur.

VASCHY et DE LA TOUANNE.

CHRONIQUE.

Comité technique d'électricité pour l'Exposition de 1889.

Le *Journal officiel* du 19 octobre a enregistré l'arrêté suivant :

Le ministre du commerce et de l'industrie,

Vu la loi du 6 juillet 1886;

Vu le décret du 28 juillet 1886;

Vu le rapport présenté par le directeur général de l'exploitation;

Sur la proposition du directeur du cabinet et du personnel,

Arrête :

Art. 1^{er}. — Il est institué, pour assister le directeur général de l'exploitation, un comité technique d'électricité.

Art. 2. — Sont nommés membres de ce comité :

MM. Becquerel (Edmond), membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle.

Cornu (Alfred), membre de l'Institut, professeur à l'École polytechnique, ingénieur des mines.

Desprez (Marcel), membre de l'Institut.

Gariel, membre de l'Académie de médecine, secrétaire de l'Association française pour l'avancement des sciences.

Lévy (Maurice), membre de l'Institut, professeur au Collège de France.

Lippmann (G.), membre de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences de Paris.

Lévy (Maurice), membre de l'Institut, sous-directeur de l'Observatoire, président de la Société internationale des électriciens.

Mascart, membre de l'Institut, professeur au Collège de France, directeur du Bureau central météorologique.

Perrier (le colonel), membre de l'Institut, membre du Bureau des longitudes.

Armengaud, membre du conseil municipal de Paris, ingénieur civil.

Baille, répétiteur à l'École polytechnique.

Bartet, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ingénieur en chef des promenades de la ville de Paris.

Bergon, ancien directeur du matériel et de la construction au Ministère des postes et télégraphes.

Blavier, inspecteur général des télégraphes, directeur de l'École supérieure de télégraphie.

- MM. Caël, directeur-ingénieur des télégraphes de la région de Paris.
 Carpentier (J.), ancien ingénieur des manufactures de l'État, constructeur-électricien. •
 Chatard, représentant de la maison Edison.
 Fontaine (Hippolyte), président honoraire de la chambre syndicale d'électricité, administrateur délégué de la Société Gramme.
 Fribourg, directeur du matériel et de la construction au Ministère des postes et télégraphes.
 Hospitalier (Edouard), professeur à l'École de physique et de chimie industrielle de la ville de Paris.
 Huet, inspecteur général des ponts et chaussées, sous-directeur des travaux de la ville de Paris.
 Joubert, secrétaire général de la Société française de physique.
 Joussetin (Paul-Louis), ingénieur-électricien, inspecteur principal de la compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
 Lemonnier (Hippolyte), constructeur-électricien, président de la chambre syndicale d'électricité.
 Ménier (Henri), industriel.
 Mercadier, ingénieur des télégraphes, directeur des études à l'École polytechnique.
 de Méritens, ingénieur et constructeur-électricien.
 Napoli, ingénieur chef du laboratoire d'essai au chemin de fer de l'Est.
 Planté (Gaston), électricien.
 Postel-Vinay, constructeur-électricien, vice-président de la chambre syndicale d'électricité.
 Potier, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École polytechnique.
 Raynaud (Jules), ingénieur des télégraphes, professeur à l'École supérieure de télégraphie.
 Richard (M.), administrateur délégué de la Société générale des téléphones.
 Rothschild (le baron Edmond de).
 Sartiaux (Eugène), chef du service télégraphique du chemin de fer du Nord, vice-président de la chambre syndicale d'électricité.
 Sciana, directeur de la maison Bréguet, vice-président de la chambre syndicale d'électricité.
 Sebert (le colonel H.), directeur du laboratoire central de la marine.
 Violle, maître de conférences à l'École normale supérieure.
 Vivarez (Henri), ancien élève de l'École polytechnique, secrétaire de la chambre syndicale d'électricité.

Art. 3. — Les secrétaires du Comité seront désignés par un arrêté ultérieur, sur la présentation du directeur de l'exploitation.

Paris, le 17 octobre 1886.

ÉDOUARD LOCKROY.

Par arrêté ultérieur, MM. Maurice Lévy et Weiller ont été nommés membres du même Comité.

M. Max de Nansouty, ingénieur, secrétaire de la Société internationale des électriciens, et M. Seligmann-Lui, ingénieur des télégraphes, ont été nommés, par arrêté ministériel du 19 octobre 1886, pour remplir les fonctions de secrétaires de ce comité.

Le 8 novembre dernier, le comité, après avoir élu comme président M. Mascart, membre de l'Institut, s'est subdivisé en quatre sous-comités, composés ainsi qu'il suit :

Premier sous-comité.

Éclairage (10 membres).

MM. Bartet, <i>président</i> .	MM. Huet.
Baille.	Lemonnier.
Chatard.	Méritens (de).
Fontaine.	Monnier.
Gariel.	Vivarez.

Deuxième sous-comité.

Expériences (11 membres).

MM. Becquerel, <i>président</i> .	MM. Mercadier.
Bergon.	Planté.
Carpentier.	Postel-Vinoy.
Joubert.	Potier.
Lippmann.	Violle.
Lœwy.	

Troisième sous-comité.

Générateurs et moteurs (9 membres).

MM. Levy, <i>président</i> .	MM. Ménier.
Armengaud.	Napoli.
Cornu.	Rothschild (baron
Deprez (Marcel).	Edmond de).
Hospitalier.	Sciama.

Quatrième sous-comité.

Applications diverses de l'électricité [télégraphes, téléphones, signaux, etc.] (11 membres).

MM. Blavier, <i>président</i> .	MM. Sartiaux (Eugène).
Caël.	Sebert (colonel).
Fribourg.	Perrier (colonel).
Jousselin.	Vigouroux.
Raynaud.	Weiller.
Richard.	

Les présidents de ces quatre commissions sont en même temps vice-présidents du comité technique.

Sur la proposition de M. Mascart, M. de Nansouty a été désigné comme secrétaire des premier et troisième sous-comités, et M. Séligmann-Lui des deuxième et quatrième sous-comités.

Éclairage électrique des ateliers de lapidaires, à Anvers.

On sait qu'à Anvers la plupart des ateliers pour la taille du diamant sont construits par des entrepreneurs qui louent aux ouvriers l'emplacement, la force motrice et l'éclairage dont ils ont besoin.

Pendant la bonne saison, la journée de travail est de dix heures; mais, en hiver, les ouvriers doivent renoncer à la plus grande partie des soirées, parce qu'ils ne peuvent supporter un travail suivi à la lumière des becs de gaz, dont la flamme vacillante leur fatigue rapidement la vue et dont la chaleur rend le séjour de l'atelier insupportable.

M. Leytens, architecte, qui vient de transformer ses magasins à Anvers-Sud en ateliers pour la taille des pierres précieuses, a eu l'heureuse inspiration de recourir à la lumière électrique pour obvier aux inconvénients de l'éclairage par le gaz.

L'installation de M. Leytens, effectuée par M. H. Dratz, comprend 100 lampes à incandescence de 16 bougies (*Victoria-Brush*); la dynamo est une machine Gülcher modifiée par M. Dulait, ingénieur à Charleroi. Cette dynamo, spécialement construite pour la production des courants intenses de faible tension, travaille à des vitesses modérées et à un rendement très élevé. Le type installé chez M. Leytens est de 125 ampères et de 70 volts, et fait 300 tours à la minute.

Sur l'un des fils venant de la machine, se trouve installé un commutateur à deux plaques fusibles de Hedges, tandis que l'autre fil est pourvu du coupe-circuit à contact conique, système H. Dratz. Un voltmètre de Hummel occupe le milieu du tableau.

La distribution du courant se fait aux différents étages,

au moyen de dérivations qui alimentent chacune environ 20 lampes. Tous les conducteurs sont placés dans des boîtes à rainures fermées par des couvercles, et à chaque établi aboutit une de ces boîtes.

Les lampes ont été munies d'abat-jour à réflecteurs qui projettent la lumière sur les plateaux des lapidaires; elles sont suspendues par un système de crochets doubles qui permet de les reculer pendant le jour contre les boîtes et de les ramener le soir au-dessus des plateaux. Chaque lampe est munie d'un commutateur qui se trouve disposé à la partie supérieure du réflecteur. Les tables des sertisseurs sont éclairées d'une façon analogue; mais les abat-jour sont plats, les lampes sont protégées par des globes épais en verre.

Les ouvriers lapidaires qui ont tenu à faire un essai préalable du nouvel éclairage avant que celui-ci fût définitivement adopté, ont manifesté leur entière satisfaction; de sorte qu'il est probable qu'avant peu de temps les autres fabriques pour la taille du diamant suivront l'exemple donné par M. Leytens.

Jusqu'ici l'éclairage au gaz se faisait au moyen du bec papillon protégé par un abat-jour à circulation d'air. Ce bec avait pour inconvénient d'échauffer considérablement la tôle vers laquelle l'ouvrier tient la tête inclinée, ce qui l'oblige à abandonner fréquemment le travail et contribue à rendre celui-ci très pénible.

L'essai de M. Leytens a donc une grande importance et réalise un progrès utile au développement de cette branche spéciale de l'industrie de la taille du diamant.

(Bulletin de la Société internationale des électriciens.)

Éclairage électrique de la ville de Tivoli, en Italie.

L'installation d'éclairage électrique de la ville de Tivoli, près de Rome en Italie, vient d'être inaugurée et comprend maintenant environ 200 lampes Cruto de 50 bougies chacune, 80 lampes Edison de 16 bougies pour l'éclairage des bureaux

publics et 6 foyers à arc Siemens de 200 bougies. On se sert des transformateurs du système Gaulard et Gibbs et le circuit primaire s'étend sur une longueur de 30 kilomètres. La force motrice est fournie par deux turbines actionnées par le Tibre.

(Bulletin de la Société internationale des électriciens.)

Saponification des graisses par l'électricité

Il résulte des expériences de M. Rotondi qu'on peut saponifier les graisses par l'électrolyse de dissolutions concentrées de chlorure de sodium; il se forme de la soude caustique, de la glycérine et du chlore libre, qui peuvent être recueillis à part. Ce procédé peut rendre de grands services aux usines qui blanchissent les fibres textiles et qui disposent de forces hydrauliques utilisées seulement pendant le jour. On pourrait ainsi, à peu de frais, par l'emploi d'une dynamo, fabriquer pendant la nuit le savon, la soude et le chlore indispensables pour le blanchiment des fibres végétales.

(Bulletin de la Société internationale des électriciens.)

Ampèremètre absolu.

M. Pellat présente à la Société un ampèremètre absolu qui est un électrodynamomètre-balance d'une forme nouvelle.

Il se compose d'une grosse bobine de 0^m,50 de long et de 0^m,18 de diamètre intérieur sur laquelle sont enroulées dix couches d'un fil de 1^{mm},3 de diamètre. A l'intérieur de cette bobine, dont l'axe est horizontal, se trouve une petite bobine à axe vertical ayant 0^m,11 de diamètre et 0^m,08 de hauteur, recouverte d'une seule couche d'un fil de cuivre de 0^{mm},5 de diamètre; le centre des deux bobines coïncide.

La petite bobine fait corps avec un fléau de balance qui porte à son extrémité un plateau suspendu à la façon ordinaire. Le couteau sur lequel repose le fléau et celui du plateau sont en agate, ainsi que les plans correspondants.

Deux fils d'argent très fins, faisant deux tours de spire en face de l'arête du couteau qui supporte le fléau, permettent de faire passer le courant dans la petite bobine sans gêner en rien les mouvements du fléau.

En lançant le courant dont on veut mesurer l'intensité dans les deux bobines, la plus petite, se trouvant placée dans le champ magnétique à peu près uniforme produit par la plus grande, est soumise à un couple qui tend à faire basculer le fléau. On fait équilibre à ce couple en mettant dans le plateau de la balance des poids marqués. Soient p la masse en grammes de ces poids, g l'intensité de la pesanteur, l la distance des arêtes des deux couteaux, d le diamètre de chaque spire de la petite bobine, n le nombre de ces spires, N le nombre de couches de fil sur la grosse bobine, e la distance des axes de deux spires consécutives, enfin a un terme correctif nécessité par la longueur finie de la grosse bobine et qui est fourni par le calcul avec une très grande précision; on a, pour la valeur i de l'intensité du courant en unités C. G. S.,

$$i = \sqrt{\frac{gle}{\pi^2 d^2 n N (1 - a)}} \sqrt{p}.$$

Cette relation fait connaître i en fonction de la masse p employée; le facteur de $\sqrt{p}$ se détermine par des mesures de longueur faciles à effectuer avec précision; elles ont été faites en partie par le Bureau international des Poids et Mesures, en partie par M. Pellat, mais rapportées à l'étalon international du mètre: ce facteur est connu avec une erreur relative inférieure à $\frac{1}{2000}$.

Pour équilibrer un courant de $0^{\text{amp}},3$, il faut placer $0^{\text{gr}},4180$ dans le plateau.

L'effet du champ magnétique terrestre, dont la composante horizontale n'est que la fraction $\frac{1}{137}$ du champ de la grosse bobine pour $0^{\text{amp}},3$, est annulé complètement en disposant le plan de mobilité du fléau perpendiculairement au méridien magnétique.

Des expériences ont montré que l'isolement des fils était pratiquement parfait et que l'aluminium qui forme le noyau de la petite bobine n'est pas assez magnétique pour fausser les mesures d'une quantité appréciable.

Une autre expérience, faite en déplaçant la grande bobine de sa longueur, a fait voir qu'aucune erreur matérielle ne s'était glissée dans le calcul assez long qui donne le terme correctif α .

Cet appareil a été construit par M. Carpentier.

M. Pellat se propose de déterminer à l'aide de l'ampèremètre absolu :

1° La valeur absolue de la force électromotrice du Latimer-Clark ($E = IR$) ;

2° Le rapport des forces électromotrices en unités électromagnétiques et en unités électrostatiques, en se servant, en outre, d'un électromètre absolu ;

3° L'équivalent mécanique de la chaleur, en se fondant sur la loi de Joule. Le travail $W (= I^2 RT)$, converti en chaleur par le passage du courant I dans un fil de résistance R immergé dans un calorimètre, peut être connu à $\frac{1}{100}$ près.

En outre, MM. Pellat et Carpentier se proposent de construire des *ampèremètres-étalons* fondés sur le même principe que l'ampèremètre absolu, mais ayant des dimensions beaucoup moindres. L'intensité du courant sera fournie à l'aide de ces appareils par la relation $i = A \sqrt{p}$, A étant une constante pour chaque instrument, qui se détermine par comparaison avec l'ampèremètre absolu. Ces ampèremètres-étalons serviront dans les laboratoires à déterminer la constante des galvanomètres, ampèremètres, etc., ainsi qu'à quelques autres déterminations, en particulier celle de la composante horizontale du champ magnétique terrestre par une méthode rapide et précise, en faisant passer un courant connu dans le cadre d'une boussole des tangentes.

(*Société de Physique*, 3 déc. 1886.)

Isolément du fluor.

M. Moissan expose à la Société de physique ses recherches sur l'isolément du fluor; il rappelle tout d'abord, sans s'y arrêter, ses expériences sur l'étincelle d'induction éclatant dans une atmosphère de trifluorure, de pentafluorure de phos-

phore, et enfin le trifluorure d'arsenic. Laisant de côté les différentes réactions chimiques entreprises dans le but d'isoler le fluor, il insiste plus particulièrement sur l'action d'un courant électrique sur le trifluorure d'arsenic.

Cette expérience, qu'il a reprise un grand nombre de fois, lui a démontré que, sous l'action d'un courant de 90 éléments Bunsen, l'arsenic se déposait d'une façon continue au pôle négatif, et qu'au pôle positif il se formait un corps gazeux qui était absorbé par l'excès de trifluorure; ce dernier passait donc à l'état de pentafluorure et ne permettait pas l'isolement du fluor.

Après de nombreux tâtonnements, M. Moissan s'est alors adressé à l'acide fluorhydrique anhydre. Ce corps, quand il est pur, ne conduit pas le courant : mais, s'il renferme un fluorure métallique, fluorure de platine, fluorure de potassium, il devient bon conducteur. M. Moissan indique alors les premières expériences tentées dans cette voie, la façon dont il a modifié successivement l'appareil de platine dans lequel se faisait l'électrolyse. Il s'est arrêté finalement à un tube en U en platine dont les deux extrémités sont fermées par des bouchons à vis. Chacun de ces bouchons est formé par un cylindre de spath fluor bien serti dans un cylindre creux de platine dont l'extérieur porte le pas de vis. Chaque cylindre de spath fluor laisse passer en son axe une tige carrée de platine irridié (10 p. 100 d'iridium), moins attaquable que le platine pur. Ces tiges, plongeant par leur extrémité inférieure dans le liquide, servaient d'électrodes. Enfin deux ajutages en platine soudés à chaque branche du tube, un peu au-dessous des bouchons, au-dessus, par conséquent, du niveau du liquide, permettaient aux gaz dégagés par l'action du courant de s'échapper au dehors.

Le tube en U plongeait à sa partie inférieure dans du chlorure de méthyle dont on activait l'évaporation par un courant d'air sec. On maintient ainsi l'acide fluorhydrique liquide à une température toujours inférieure à -23° (température d'ébullition normale du chlorure) et pouvant atteindre -50° , température facile à maintenir par le passage d'un courant d'air dans ce liquide. Un ampèremètre, placé dans le circuit, permet de se rendre compte de l'intensité du courant. Voici

les résultats de l'expérience : au pôle négatif, on obtient un dégagement régulier d'hydrogène (de 1^{litre},5 à 2 litres par heure) entraînant un peu d'acide fluorhydrique ; au pôle positif, un dégagement aussi notable d'un gaz possédant les propriétés suivantes : il est absorbé complètement par le mercure avec production de protofluorure de mercure jaune clair. Il décompose l'eau à froid en donnant un dégagement d'ozone. M. Moissan insiste sur la façon de faire ces expériences et de mesurer les volumes gazeux produits à chaque pôle.

Le phosphore s'enflamme dans ce gaz en fournissant du fluorure de phosphore ; le soufre s'échauffe, fond rapidement, et peut même s'y enflammer ; l'iode s'y transforme, avec une flamme pâle, en un produit gazeux à peu près incolore ; l'arsenic et l'antimoine en poudre y brûlent avec incandescence. Le silicium cristallisé prend feu au contact de ce gaz et brûle avec éclat en donnant du fluorure de silicium ; le bore adantin y brûle avec plus de difficulté. Le carbone semble sans action.

Le fer et le manganèse en poudre y brûlent avec étincelles ; il attaque avec violence la plupart des corps organiques ; l'alcool, l'éther, la benzine, l'essence de térébenthine, le pétrole prennent feu à son contact ; un morceau de liège placé auprès de l'ajutage de platine par lequel le gaz se dégage se carbonise rapidement et s'enflamme. Ajoutons que le chlorure de potassium fondu est attaqué à froid avec dégagement de chlore. Enfin le tétrachlorure de carbone est décomposé et dégage du chlore.

(Société de physique, 3 déc. 1886.)

La résistance électrique des bois.

M. Addenbrooke, de l'*United Telephone Co.*, a fait quelques mesures relatives à la résistance des différentes espèces de bois qui peuvent être utilisées par les électriciens.

Ces mesures ont été faites au moyen de bornes placées de 2 en 2 pouces, dans des pièces de bois des espèces nommées ci-dessous. Chaque pièce avait 3 pouces sur 7. Les échantillons

se trouvaient placés dans un endroit chaud et sec, quelque temps avant l'époque de l'essai, car la conductibilité de la surface joue un rôle très important dans ces mesures.

Le tableau suivant contient les résultats obtenus :

Bois.	Résistance en mégohms
Acajou	48
Sapin	214
Bois de rose	291
Gaiac.	397
Noyer.	478
Teck	734

Ces résultats prouvent que le bois des Indes (teck) est le meilleur isolant ; il convient mieux, pour les appareils électriques, que l'acajou qui, au contraire, est le plus mauvais isolant. Le bois des Indes s'emploie beaucoup pour la construction de câbles artificiels.

Tous ces essais ont été faits dans le sens des fibres du bois. D'autres expériences de M. Addenbrooke ont démontré que le même morceau de bois donne une résistance de 50 à 180 p. 100 plus élevée si l'essai est fait normalement aux fibres.

(*Lumière électrique.*)

Pile au peroxyde de plomb.

Le peroxyde de plomb est un des meilleurs dépolarisants connus, malheureusement son prix élevé empêche de l'employer dans les piles primaires ; mais, grâce à un procédé de M. J.-L. Roberts, que nous communiquons l'*Electrical World*, cet obstacle n'existe plus maintenant, et dorénavant le peroxyde de plomb pourra être substitué au bioxyde de manganèse. On fait un mélange intime de minium et de permanganate de potasse en poudre, et on l'arrose avec de l'acide chlorhydrique, de façon à former une pâte épaisse. Il se produit du chlorure de potassium et de l'acide permanganique ; celui-ci réagit sur le minium et le transforme en peroxyde de plomb, le mélange est coulé dans un moule autour d'une baguette de charbon et il se prend en masse au bout de quel-

ques instants; on démoule et on fait sécher. On obtient ainsi un corps très poreux et très bon conducteur. G. R.

(Électricien.)

Nature et rôle des courants telluriques.

Note de M. J.-J. LANDERER, présentée par M. Janssen.

Le sujet sur lequel j'ai l'honneur d'appeler aujourd'hui l'attention de l'Académie est la suite de celui dont je l'ai entretenue dans sa séance du 17 octobre 1881 (*), l'étude des courants telluriques, que je poursuis depuis plusieurs années à Tortose.

Parmi les faits que j'avais signalés dans le travail précité, il en est deux qu'il est essentiel de rappeler : l'existence des courants produits par le vent et l'inversion du sens du courant tellurique, survenue de temps à autre et qui parfois persiste pendant des mois entiers.

Visant à connaître la nature de ces deux genres de courants, j'ai mis une des extrémités de la ligne aérienne dont j'ai déjà parlé (**) en communication avec une paire de quadrants d'un électromètre de Mascart, l'autre paire étant au sol : la tache lumineuse reste au zéro. En substituant à l'électromètre un galvanomètre à grande résistance, et fermant le circuit, on n'observe non plus aucun effet. Par contre, l'aiguille d'un galvanomètre à résistance faible ou médiocre dévie d'autant plus que le courant tellurique est plus intense, ou que le vent est plus fort, ou qu'il balaye une plus grande étendue de terrain. En répétant ces expériences sur cinq autres lignes aériennes de longueur et de direction très diverses, et en opérant à l'abri de toute action inductrice extérieure, j'ai obtenu les mêmes résultats (***). Lorsque le courant tellurique et le vent vont tous deux dans le même sens, ou que l'angle qu'ils forment est au-dessous de l'angle droit, les dé-

(*) *Comptes rendus*, t. XCVIII, p. 588.

(**) *Loc. cit.*

(***) La plus longue de ces lignes mesure 106 kilomètres; la résistance de la partie aérienne de ce circuit est de 954 ohms. Le sol intervient dans toutes ces lignes.

viations qui en proviennent sont de même signe; dans le cas contraire, elles sont de signe différent.

On voit donc : 1^{re} que le potentiel qui se rapporte au courant tellurique est extrêmement faible; 2^{re} que l'effet du vent est d'électriser, non pas principalement le fil, mais bien la terre, où il développe un courant *de même sens que lui, se propageant à travers le sol où il occupe une très large section.*

L'ensemble des faits dont je viens de faire l'exposé sommaire permet d'envisager la cause du magnétisme terrestre comme siégeant, non pas dans le courant tellurique local ou régional de nos contrées, mais ailleurs; car il est évident que les inversions de ce courant ne sauraient se concilier avec l'orientation à peu près permanente de l'aiguille aimantée.

L'électrisation de la terre par le vent étant un fait désormais acquis, il n'y a qu'à chercher un régime de vents qui, par la portée et par la persistance de son action, soit en rapport avec l'allure générale des phénomènes qu'il s'agit d'expliquer. Or, parmi les régimes solidement et amplement établis à la surface du globe, il en est deux qui remplissent tout à fait les conditions requises, savoir : les alizés et les moussons; on pourrait encore ajouter les vents constants du Grand Océan.

Pour ce qui concerne les alizés, il est aisé de voir que la résultante des courants telluriques provenant de leur action doit être dirigée de l'est à l'ouest. C'est elle qui, sur l'Atlantique et sur une grande partie des continents qui le bordent, régit l'orientation nord-sud de l'aiguille. Sur nos contrées (en France et en Espagne), c'est l'action de l'alizé nord qui tend à prévaloir, d'où il suit que le pôle *boréal* de l'aiguille doit dévier vers l'est. Le siège des forces ici mises en jeu ne serait donc pas *au-dessus* de l'aiguille, ainsi que MM. Blavier, Balfour-Stewart et Schuster le pensent, mais bien *au-dessous*.

Une variation de la direction ou de l'intensité des alizés, ou, en remontant aux causes, une variation de l'intensité des radiations du soleil, entraînerait forcément un changement correspondant de la direction de l'aiguille; c'est ainsi que s'expliquerait la concomitance des maxima des taches avec la recrudescence de l'activité magnétique.

Si la cause que je viens de signaler était réellement la rai-

son première des faits, on devrait s'attendre à la retrouver toujours et partout, malgré les perturbations locales qui peuvent plus ou moins la masquer, et parmi lesquelles *les vents régionaux, les orages, la proximité de circuits parcourus par des courants* sont celles dont on doit principalement tenir compte.

Lorsque, par un ciel serein et une atmosphère tranquille, on observe les variations du potentiel électrique de la couche d'air qui enveloppe une ligne de peu d'étendue, voici ce qui arrive (*). Quand un cumulus ou cirro-cumulus vient à passer ou se forme au-dessus de la ligne, le potentiel s'élève (atteignant parfois plusieurs centaines de volts); il s'abaisse à mesure que le nuage s'éloigne ou s'évanouit. Ni le sens ni l'intensité du courant tellurique ne s'en ressent d'une manière appréciable.

Ces fluctuations sont aussi sans action sensible sur le téléphone. On est donc sûr de s'être affranchi de l'action que les décharges pourraient exercer sur la ligne. Celle du vent étant aussi éliminée, il en résulte que, dans ces circonstances, la seule cause mise en présence du courant tellurique, ce sont les variations, parfois considérables, du potentiel des masses électriques situées le long du circuit. Or, cette cause n'y produisant pas d'effet appréciable, il en découle que le courant tellurique qui parcourt les lignes télégraphiques d'une contrée plus ou moins restreinte ne dérive pas d'un courant induit, né au sein du sol, sous l'action d'un inducteur situé au-dessus.

Par extension, il est logique de conclure que le courant tellurique capable de maîtriser, sur la surface entière du globe, l'orientation de l'aiguille aimantée et de se plier aux changements qu'elle éprouve n'est pas un courant induit. Mais il y a encore, à l'appui de cette assertion, un argument d'un autre

(*) Ces observations ont été faites au moyen d'un conducteur isolé, dont l'extrémité supérieure est située à quelques mètres de la ligne, l'autre extrémité étant rattachée à l'électromètre. Que l'électricité qui apparaît sur ce conducteur soit induite comme le veut M. Palmieri, ou qu'elle lui soit communiquée par l'air ambiant, les conséquences dont je vais m'occuper restent également valables.

genre, dont la valeur ne saurait être contestée par personne : c'est l'impossibilité d'admettre un inducteur permanent d'une étendue invraisemblable (du moins tant qu'on n'en signale pas la raison efficiente) circulant dans les hautes régions de l'atmosphère.

Il ne semble donc pas hasardé d'affirmer que la nature du courant tellurique est bien celle que j'ai signalée dans mon dernier travail. Bien plus, la théorie que j'y établis explique d'une manière fort simple pourquoi et comment le circuit se complète. En effet, en réfléchissant à ce que, quand le vent souffle avec force, le sens des potentiels positifs décroissants est le même que celui du vent, on conçoit que le sens des potentiels négatifs décroissants qui en résultent pour la terre, en vertu du frottement de l'air, doit aussi être le même, la faible capacité inductive spécifique du diélectrique aidant bien, du reste, à cet agencement. Le grand courant tellurique du globe tire donc son origine de la différence des potentiels négatifs; la constance et l'ampleur des régimes des vents qui en sont la cause en assurent et la direction et la perpétuité.

(*Comptes rendus*, 16 août et 6 septembre 1886.)

Sur le pouvoir inducteur spécifique et la conductibilité des diélectriques. Relation entre la conductibilité et le pouvoir absorbant.

Note de M. J. CURIE, présentée par M. Lippmann.

I. La méthode dont nous nous servons pour déterminer le pouvoir inducteur spécifique et la conductibilité des diélectriques est une méthode de réduction à zéro, basée sur l'emploi d'une lame de quartz piézo-électrique comme instrument de mesure.

Les propriétés de cet instrument sont les suivantes : les quantités d'électricité dégagées sont rigoureusement proportionnelles à la traction; elles sont indépendantes de la température entre 10° et 35°.

Le corps dont on veut étudier les propriétés électriques est pris à l'état de lame mince. On réalise un véritable condensateur avec anneau de garde, en argentant ses deux faces et en découpant une portion centrale sur la surface argentée de l'une d'elles à l'aide d'un simple trait fait avec la pointe d'une aiguille.

La première face, celle dont l'argenteure est continue, est destinée à recevoir la tension d'une pile de quelques éléments Daniell; l'anneau de garde de la deuxième face communique constamment avec la terre; il sert à la fois à réaliser un champ uniforme et à écarter toute crainte de conductibilité superficielle. La portion centrale de la deuxième face sert aux mesures. La méthode consiste à maintenir constamment cette portion centrale au potentiel zéro à l'aide de l'électricité fournie par le quartz piézo-électrique; un électromètre Thomson fonctionnant comme électroscope, sert à constater si cette condition est bien remplie.

Pour mesurer le pouvoir inducteur de la substance, on place, ou l'on retire brusquement des poids connus sur le plateau de quartz piézo-électrique en même temps que l'on charge ou que l'on décharge électriquement la première face du condensateur : il faut chercher le poids nécessaire pour que l'image de l'électromètre reste au zéro. La charge matérielle du quartz mesure précisément la charge condensée dans la portion centrale de la lame.

Pour mesurer la conductibilité, on compense exactement l'électricité provenant d'un courant qui traverse la lame par l'électricité qui se dégage du quartz piézo-électrique lorsqu'on le soumet à une charge progressivement croissante, que l'on obtient en faisant couler du mercure d'une manière continue dans un cristalliseur posé sur le plateau de l'appareil. La vitesse d'écoulement du mercure compense et mesure la vitesse d'écoulement d'électricité dans la lame.

Il n'est pas nécessaire de connaître le potentiel absolu de la pile et la constante du quartz : le rapport de ces deux quantités intervient seul dans la valeur du pouvoir inducteur et de la conductibilité. On détermine ce rapport à l'aide d'une mesure préliminaire faite avec un condensateur absolu à lame d'air; on cherche pour cela quelle traction il faut exercer sur le quartz

pour l'électricité condensée dans le condensateur, lorsqu'il est chargé au potentiel de la pile.

Pour mesurer la conductibilité, on peut encore, au lieu de l'écoulement du mercure, employer un poids que l'on soutient à la main et qu'on laisse peser peu à peu sur le plateau de traction du quartz; pendant cette opération, on regarde constamment l'image de l'électromètre et l'on arrive, avec un peu d'habitude, à la maintenir constamment fixe; on note le temps nécessaire à l'électricité qui traverse la lame pour compenser le poids.

Cette manière d'opérer est seule praticable lorsque l'intensité du courant varie rapidement dans la lame. Nous avons pu, en l'employant, construire la courbe complète des intensités en fonction du temps pour un assez grand nombre de substances.

Les conductibilités spécifiques que nous avons mesurées par ce procédé sont comprises entre 0.000001 et 100 unités C. G. S. électrostatiques, c'est-à-dire que ces corps ont une résistance de 10^{18} à 10^{10} ohms par centimètre cube.

En employant les corps sous forme de prismes allongés et de faible section, l'on peut étendre les mesures à des conductibilités beaucoup plus grandes.

II. Lorsqu'on établit une différence de potentiel entre les deux faces d'une lame diélectrique, il se produit d'abord, en un temps inappréciable, une charge brusque; la lame devient ensuite le siège d'un courant électrique, ce courant diminue d'intensité avec le temps et finit par prendre une valeur constante ou par s'éteindre complètement.

Un premier fait particulièrement frappant, c'est la grande constance de la charge brusque primordiale, à laquelle correspond le pouvoir inducteur spécifique instantané et l'extrême variabilité de la conductibilité. Tous les échantillons d'une même substance (taillés dans la même direction pour les corps cristallisés) donnent la même valeur pour le pouvoir inducteur spécifique instantané. Il est au contraire impossible de trouver deux échantillons identiques au point de vue de la conductibilité; il n'est même pas rare de rencontrer deux lames également pures d'une même substance donnant des résultats qui sont entre eux dans le rapport de 1 à 5.

Une variation de température altère à peine la valeur du

pouvoir inducteur. Elle fait varier au contraire dans des proportions énormes la conductibilité, et celle-ci, lorsque le corps est revenu à sa température primitive, n'est plus identique à ce qu'elle était auparavant. Malgré ces causes d'incertitude, la conductibilité moyenne doit être considérée comme une donnée assez précise pour un diélectrique, parce que, à une même température, deux corps différents peuvent présenter entre eux des différences de conductibilité plus grandes encore et souvent énormes : c'est ainsi que le sel gemme peut être considéré comme dix fois moins conducteur que le verre.

Un diélectrique parfait serait un diélectrique qui ne donnerait pas de courant après la charge instantanée. Tous les corps semblent tendre vers l'état de diélectrique parfait lorsque la température s'abaisse. M. Boltzmann a montré que le *soufre cristallisé* était un diélectrique très parfait. Il résulte de nos recherches que le *sel gemme* et le *spath fluor* sont dans le même cas à la température ambiante. Viennent ensuite le *quartz* (lame parallèle à l'axe optique), la *topaze* (lame de clivage), le *mica* et l'*ébonite* qui sont encore d'assez bons diélectriques. Nous énoncerons les autres corps que nous avons étudiés dans l'ordre de leur conductibilité croissante examinée à une même température :

Spath d'Irlande (lame perpendiculaire à l'axe optique), *spath* (lame parallèle à l'axe optique), *quartz* (lame perpendiculaire à l'axe optique), *sulfate de baryte* (clivage m), *cristal*, *tourmaline rose* (perpendiculaire), *tourmaline verte*, *alun*, *verre*.

Il est intéressant de rapprocher cette liste de celle donnée par Melloni pour les pouvoirs absorbants : *sel gemme*, *soufre*, *spath fluor*, *spath d'Irlande*, *quartz*, *verre*, *topaze blanche*, *sulfate de baryte*, *tourmaline (vert foncé)*, *alun*.

D'une manière générale, la relation signalée par Maxwell entre la conductibilité et le pouvoir absorbant semble se vérifier. Ce qui est surtout probant, c'est que les trois diélectriques les plus parfaits, le sel gemme, le soufre et le spath fluor, sont précisément les trois corps les plus diathermanes. Signalons encore l'ébonite, qui est un corps très peu conducteur et qui, suivant des expériences de Grahams Bell et de M. Abney, laisse passer la chaleur obscure. Nous nous gardons toutefois d'être absolument affirmatif sur la réalité de la

relation signalée par Maxwell, et nous remarquerons que, dans l'état actuel de nos connaissances, il est impossible d'arriver à des vérifications précises, puisque, d'une part, l'intensité du courant qui traverse une lame est une fonction du temps, et que, d'autre part, le pouvoir absorbant dépend de la longueur d'onde de la radiation. Les chiffres donnés par Melloni correspondent à tout un groupe mal défini de radiations.

(*Comptes rendus*, 13 novembre 1886.)

BIBLIOGRAPHIE.

Éléments d'électrotechnique par M. ERIC GÉRARD. — Notes prises au cours professé à l'École des mines de Liège, rédigées par M. Demany, ingénieur électricien, Liège.

Le livre qui vient de paraître sous ce titre est un travail complet, bien qu'élémentaire, des applications de l'électricité.

Il débute par une exposition rapide et sommaire des phénomènes élémentaires de l'électricité et du magnétisme, et par la description des instruments et méthodes de mesure, galvanomètres, électromètres, condensateurs, étalons, etc. L'auteur passe ensuite en revue les divers procédés de production des courants électriques, piles ordinaires et thermo-électriques, accumulateurs, générateurs électro-dynamiques; puis il arrive aux applications de l'électricité. Électro-moteurs, télégraphes électriques, téléphones, éclairage électrique, électro-metallurgie, enfin distribution de l'énergie électrique. Un appendice contient de nombreux tableaux dans lesquels on trouve les résistances spécifiques des métaux, des liquides, des diélectriques; les forces électro-motrices des diverses piles, les quantités de chaleur dégagés ou absorbés dans la formation des combinaisons chimiques, etc.

Toutes les découvertes récentes figurent dans cet ouvrage qui contient à chaque chapitre des formules pratiques et des applications numériques destinées à servir de guide aux praticiens, aussi ne doutons-nous pas de l'intérêt avec lequel il sera accueilli par les électriciens.

Nécrologie.

M. VINCHENT,

Directeur général des postes et des télégraphes de Belgique.

Le département des chemins de fer, postes et télégraphes du royaume de Belgique vient de faire une perte cruelle dans la personne de M. J. Vinchent, directeur général des postes et télégraphes, décédé à la suite d'une longue maladie, le 30 septembre dernier.

M. Vinchent, dès le début de sa carrière, s'est occupé spécialement de l'établissement et de l'organisation des communications télégraphiques. Il a notamment coopéré, en 1851, à la construction de la première ligne télégraphique entre la France et la Belgique. Il a pris part aux nombreuses conférences internationales qui ont amené la création de l'union télégraphique internationale. Chargé ordinairement des fonctions de rapporteur, il s'est toujours acquitté de cette tâche de la façon la plus brillante. Sa droiture, sa franchise et sa loyauté à toute épreuve lui avaient acquis l'estime et l'affection de tous ceux qui ont eu l'occasion de le connaître.

M. BLAVIER (ÉDOUARD-ERNEST).

Le Comité de rédaction des *Annales télégraphiques* a la douleur de faire part à ses lecteurs de la mort de son vénéré président.

M. BLAVIER (ÉDOUARD-ERNEST), Inspecteur général des télégraphes, directeur de l'École supérieure de télégraphie, ancien président de la Société française de physique, vice-président

de la Société internationale des électriciens et du Comité d'électricité de l'Exposition de 1889, etc., Commandeur des ordres de la Légion d'honneur, de la Couronne de fer d'Autriche et du Medjidié, Officier de l'Instruction publique, Chevalier de l'ordre des Saints Maurice et Lazare, est décédé le 14 janvier 1887.

Le 9 décembre dernier, M. Blavier assistait encore à la réunion du Conseil de la Société française de physique, dont il faisait partie en qualité d'ancien président de cette Société. Il paraissait souffrant et se plaignait d'une certaine gêne dans la respiration. Ses confrères crurent à une simple bronchite. Mais bientôt on apprenait que le mal avait une autre cause : une affection à la gorge, de date déjà ancienne, et dont la marche semblait enrayée, avait pris à l'intérieur un grand développement et menaçait les organes essentiels de la vie. Seule, une opération de la plus haute gravité pouvait peut-être le sauver; elle fut faite par une sommité chirurgicale; le malade en éprouva un grand soulagement; tout danger imminent semblait conjuré, et l'on se reprit à espérer. Au premier janvier, l'état de M. Blavier paraissait aussi satisfaisant que possible : on put même penser que sa robuste constitution triompherait rapidement et que la convalescence serait de courte durée. Mais le 8 janvier, une fièvre intense se déclarait, et, après une semaine de lutte, le lendemain du jour où il avait atteint sa 61^e année, M. Blavier rendait le dernier soupir, dans son hôtel de la rue Chardin, au milieu de sa famille éplorée.

Les obsèques ont eu lieu le lundi 17 à midi ; sur quelques-unes des couronnes déposées au pied du cercueil se détachaient les inscriptions suivantes : « A son regretté directeur, l'École supérieure de télégraphie, — à M. Blavier, ses camarades et amis, — à M. Blavier, la Société internationale des électriciens. » A la levée du corps, un bataillon d'infanterie, commandé par un colonel, avec la musique et le drapeau rendit les honneurs funèbres au commandeur de la Légion d'honneur. Les cordons du poêle étaient tenus par MM. des Orgeries, inspecteur général des Ponts et Chaussées, — Georges Berger, directeur général de l'exploitation de l'Exposition de 1889, ancien président de la Société internationale des électriciens, — Mascart, de l'Académie des sciences, président du

comité d'électricité de l'Exposition de 1889, — Wolf, de l'Académie des sciences, président de la Société française de physique, — Baron, directeur au ministère des postes et télégraphes, — Caël, directeur-ingénieur des télégraphes de la région de Paris.

Le deuil était conduit par M. Blavier, inspecteur général des mines en retraite, père du défunt; MM. Georges et Ernest Blavier, ses fils; MM. Journet et Michaut, ingénieurs des Ponts et Chaussées, ses gendres; M. A. Blavier, sénateur de Maine-et-Loire, son frère; et M. Boyer, ancien directeur au ministère des travaux publics, son beau-frère. Suivait un nombreux cortège où figuraient le personnel du ministère des postes et des télégraphes ayant à sa tête le ministre, M. Granet, et son chef de cabinet, M. Violet, des hauts fonctionnaires du ministère des travaux publics et des corps des Mines et des Ponts et Chaussées, quelques notabilités politiques parmi lesquelles nous avons remarqué MM. Buffet et Sadi-Carnot, anciens ministres, l'École supérieure de télégraphie, et des délégués des diverses sociétés dont M. Blavier faisait partie.

Après le service religieux célébré à l'église de Passy, le convoi s'est rendu à la gare de l'Est, et le cercueil a été déposé dans le wagon qui devait le conduire à Nancy, où a eu lieu l'inhumation. Deux discours ont été prononcés par M. Boussac, inspecteur général du contrôle au ministère des postes et des télégraphes, au nom du personnel du ministère et de l'École supérieure de télégraphie, et par M. Mascart, au nom d'un certain nombre de sociétés savantes. Enfin, M. Wolf a terminé par quelques paroles d'adieu au nom de la Société française de physique.

Nous sommes encore trop sous le coup de l'émotion de ce deuil cruel pour essayer de retracer la carrière administrative et les travaux scientifiques de M. Blavier; nous nous réservons d'en faire l'objet d'une notice qui sera insérée dans la prochaine livraison de ce recueil, à la rédaction duquel il prit une part si active, dès le début, qu'il fit revivre en 1874, et qui depuis n'a pas cessé un seul instant d'être l'objet de sa plus vive sollicitude.

Nous nous bornerons aujourd'hui à reproduire les éloquentes et sympathiques hommages rendus à sa mémoire pendant la cérémonie des obsèques.

DISCOURS DE M. BOUSSAC.

Messieurs,

Permettez-moi de vous retenir un instant pour vous retracer à grands traits la longue et utile carrière de celui à qui nous sommes venus adresser le suprême adieu.

Fils d'un inspecteur général des mines, Édouard-Ernest Blavier entra, lui-même, à l'École polytechnique en 1844. Il avait alors 18 ans.

A cet époque, beaucoup d'esprits éclairés estimaient que la télégraphie électrique ne tarderait pas à remplacer la télégraphie aérienne; mais l'opinion publique était encore fort hésitante.

Plein de foi dans l'avenir pratique de l'électricité, Blavier choisit, à sa sortie de l'École polytechnique, l'administration des lignes télégraphiques. Il y entra le 1^{er} novembre 1846.

Dès son début, il fut appelé à participer aux expériences qui se poursuivaient sur la ligne électrique de Paris à Rouen, expériences qui eurent pour résultat de vaincre les dernières craintes et d'amener, enfin, la création définitive de la télégraphie électrique, en 1852.

A partir de ce moment, nous trouverons toujours Blavier au premier rang parmi les apôtres de la jeune télégraphie : soit qu'il prenne une part active dans la direction des nombreuses constructions de lignes nécessitées par le développement rapide du réseau; soit qu'il accomplisse à l'étranger d'importantes missions techniques; soit, enfin, que malgré les occupations incessantes du service ordinaire, il consacre tous ses efforts à l'instruction du personnel chargé de mettre en pratique une œuvre entièrement nouvelle.

C'est ainsi que, dès 1856, il fait paraître un premier traité destiné aux agents des télégraphes, et qu'il professe en outre, à Paris, des cours très fructueux à l'usage du personnel.

En 1867, il publie son grand *Traité théorique et pratique*, ouvrage remarquable, qui est et restera toujours un modèle de traité didactique sur la télégraphie. La réputation de cet ouvrage n'est pas à faire. Il est depuis longtemps apprécié à sa

juste valeur aussi bien en France qu'à l'étranger où il a eu les honneurs de nombreuses traductions.

Vous rappellerai-je encore, Messieurs, la part active prise par Blavier dans la publication des *Annales télégraphiques*, l'analyse qu'il y a faite des travaux allemands sur l'électricité, celle des travaux anglais qu'il y avait entreprise et qui, si elle n'eût pas été malheureusement interrompue en 1864, aurait eu l'inappréciable avantage de hâter chez nous le développement de la science électrique.

En 1870, au moment où éclata la guerre, Blavier était chef de service du département de la Moselle. Pendant la première partie de la campagne, il fut seul à parer aux exigences du service télégraphique, tant civil que militaire. Il s'acquitta de cette lourde tâche de manière à mériter les éloges de l'administration. Resté dans Metz pendant tout le blocus, il fut chargé du service télégraphique de la place et des forts. Les souffrances physiques et morales qu'il eut à supporter pendant cette période, avaient fini par altérer sa santé; mais, estimant, comme il l'écrivait lui-même, que ses souffrances personnelles étaient effacées par celles de la Patrie, il n'hésita pas, malgré les plus sérieuses difficultés, à se rendre à Lyon, apportant ainsi à la défense nationale le concours d'un cœur vaillant qui ne désespérait pas encore.

Lorsqu'en 1878, fut créée l'École de télégraphie, Blavier, qui avait déjà tant fait pour l'instruction du personnel, fut tout naturellement indiqué pour en être le directeur.

Travailleur infatigable, il mit à profit cette situation pour vulgariser les notions sur les unités électriques et condensa ses travaux à ce sujet dans un ouvrage, où l'on retrouve toutes les qualités d'ordre et de méthode habituelles à son esprit lumineux. Cet ouvrage contribua très utilement à préparer les électriciens français à aborder le Congrès de 1881.

Les fonctions importantes remplies par Blavier dans ce Congrès ainsi que dans le jury de l'Exposition internationale qui eut lieu à la même époque et les témoignages éclatants d'estime qu'il reçut alors de la part des Représentants des Puissances Étrangères, furent pour lui une juste récompense de son mérite transcendant en même temps qu'ils étaient un

honneur pour la Télégraphie française. Lui seul, n'en éprouvait aucune fierté, car sa modestie n'avait d'égale que son savoir.

Mais, Messieurs, Blavier ne se contentait pas d'être aussi modeste que savant. Il possédait, en outre, toutes les qualités qui distinguent les natures d'élite.

Plein de tact et de déférence; doux et bienveillant pour ses subordonnés, sûr et dévoué pour ses égaux et pour ses camarades, obligeant et affable pour tous, il n'était pas possible de l'approcher sans se sentir attiré vers lui par un sentiment d'irrésistible sympathie.

Inspecteur général, Commandeur de la Légion d'honneur, Officier de l'Instruction publique et membre de plusieurs ordres étrangers, il avait accompli plus de quarante années de fatigues et de labeurs. La Mort jalouse nous l'a enlevé au moment où il espérait pouvoir goûter un repos si glorieusement acquis, entouré d'une famille dont il était adoré et qui faisait sa joie et son légitime orgueil. Puissent, son père vénéré, sa veuve inconsolable et ses enfants désolés trouver un adoucissement à leur immense douleur dans le témoignage des regrets unanimes laissés par celui que nous pleurons avec eux ! Qu'ils sachent bien que le nom de Blavier restera toujours vivant dans la Télégraphie française, et que sa noble carrière laissera, dans tout le personnel des Postes et des Télégraphes, une trace ineffaçable de loyauté, de dévouement et d'honneur.

Adieu, cher collègue, cher camarade, cher ami, tous ici t'adressent par ma voix un affectueux et dernier adieu.

DISCOURS DE M. MASCART.

Messieurs,

La place que tenait un homme s'apprécie surtout par le vide que laisse sa mort. Les regrets unanimes de tous ceux qui ont approché M. Blavier et la douleur de ses amis témoignent aujourd'hui qu'un homme de bien a disparu; mais un retour rapide sur sa carrière montre en même temps qu'il

avait fait une œuvre utile et que son nom ne disparaîtra pas tout entier.

Les fonctions administratives, si laborieuses et souvent si fécondes, exigent quelque abnégation parce que les bienfaits qu'elles produisent restent souvent anonymes ou ne remontent pas à leurs véritables auteurs; il faut donc un mérite particulier pour que l'initiative du fonctionnaire apparaisse, surtout, comme dans le cas actuel, quand le travail s'abrite derrière une modestie exceptionnelle.

Il restera cependant une trace ineffaçable du passage de M. Blavier dans une administration où son rôle vient d'être apprécié avec tant d'autorité. On a dit, il y a quelques années, avec un fond réel de vérité, que l'enseignement de l'électricité restait au-dessous de sa tâche et que l'on devait chercher la science dans les ateliers industriels plutôt que dans les écoles. Nous pouvons ajouter qu'à cette époque, déjà éloignée, M. Blavier était un des rares savants qui fussent au courant des travaux des maîtres et tous ses efforts tendaient à propager ces connaissances, convaincu, comme il le disait lui-même, qu'on ne peut travailler utilement au progrès d'une grande application scientifique, telle que la télégraphie, que si l'on met à profit toutes les ressources de la science, et que c'est là qu'on doit chercher le véritable guide pour la solution des problèmes les plus importants de la pratique.

Ce rôle de vulgarisateur dans le sens le plus élevé, M. Blavier l'a soutenu pendant plus de trente ans comme collaborateur et directeur des *Annales de télégraphie*, avec un zèle infatigable et sans se laisser rebuter par l'indifférence d'un public insuffisamment éclairé ou par les difficultés administratives.

Par ses ouvrages et ses traités spéciaux, surtout par les nombreux mémoires qu'il publia dans les *Annales*, M. Blavier s'est attaché à faire connaître les théories relatives à la propagation de l'électricité, à exposer les méthodes d'observation et de mesure. Il ne voyait là que des services à rendre; s'il a été conduit plusieurs fois, comme en passant, à des recherches personnelles, il n'était pas homme à les faire valoir ou à en tirer d'autre avantage que la satisfaction d'un problème résolu.

C'est ainsi qu'il s'est montré analyste habile dans les questions de théorie et expérimentateur ingénieux dans certaines méthodes d'observation. Je ne citerai que son dernier Mémoire, tout à fait magistral, sur les relations qui existent entre le magnétisme terrestre et les courants telluriques. Un juge autorisé considérerait ces expériences comme la digne continuation des travaux de Gauss et comme donnant la solution d'un problème que l'illustre physicien avait laissé inachevé. Vous apprécierez toute l'importance de cette opinion si j'ajoute qu'elle émane de sir William Thomson.

L'exemple de M. Blavier a été fécond; il était tout désigné pour diriger l'École de Télégraphie dès sa fondation, et il a eu la satisfaction de former une pléiade d'ingénieurs distingués dont une administration plus clairvoyante s'est aujourd'hui entourée.

M. Blavier exerçait une influence particulière par l'étendue de ses connaissances et la sûreté de son jugement, mais surtout par son caractère intègre, loyal, bienveillant et modeste à l'excès. Quoique de relations très affectueuses, il imposait néanmoins une sorte de respect, non seulement à ses collègues de l'administration et des différentes sociétés auxquelles il a appartenu, mais même à ses supérieurs. Quant à ses élèves et à ses subordonnés de tout ordre, ils avaient pour lui un véritable culte et le pleurent comme un père.

Les sociétés scientifiques se faisaient honneur d'appeler M. Blavier, et sa compétence fut maintes fois mise à contribution. Il fut un des premiers présidents de la Société de Physique, prit une part active aux travaux du Congrès des Électriciens, du jury de l'Exposition, des Commissions internationales relatives à l'établissement des unités électriques; il était membre du conseil de la Société d'Encouragement, vice-président de la Société des Électriciens et venait d'être nommé président d'une Commission pour l'Exposition de 1889.

J'apporte ici l'expression de mes profonds regrets au collaborateur aimé de tant de travaux communs. J'ai l'honneur de représenter aussi le Conseil de la Société d'Encouragement, le Conseil du Bureau central Météorologique, le Comité technique de l'Exposition de 1889, pour traduire le deuil général que sa mort a laissé dans le cœur de tous ses collègues.

A cette famille si cruellement éprouvée, qui pleure toutes les larmes de la piété filiale, à ce père respecté qui voit disparaître avant le temps et contre les lois de la nature ceux qui l'ont comblé de joies, nous ne pouvons que témoigner notre respectueuse sympathie. Il leur reste du moins l'exemple d'une noble existence et une mémoire dont ils ont droit d'être fiers.

ALLOCUTION DE M. WOLF.

Messieurs,

Au nom de la Société française de physique, je viens dire un dernier adieu à notre regretté collègue et ancien président, M. Blavier. D'autres vous ont parlé de ses travaux scientifiques, dont nos séances ont souvent entendu l'écho; je veux vous rappeler seulement les liens qui rattachaient M. Blavier à notre Société. Dès la fondation, il amenait à nous une nombreuse pléiade de jeunes ingénieurs, qui le suivaient comme leur chef administratif et leur chef aussi dans la science. Aussi fut-il désigné à nos suffrages comme un des premiers présidents de notre Société encore naissante. Avec quel zèle il a rempli ces fonctions enviées; quelles conquêtes nous ont valu son caractère si droit, ses manières affables et sa haute notoriété scientifique, vous le savez. Et vous savez aussi qu'il nous a été fidèle jusqu'au dernier jour. Il y a un mois à peine, nous avions encore le bonheur de le voir s'asseoir à la table du Conseil... et aujourd'hui nous lui disons le dernier adieu! Mais Blavier n'était pas de ceux qui se persuadent que la mort est l'anéantissement de la vie: nos regrets et nos espérances suivent au delà de la tombe son âme immortelle, et le souvenir du bien qu'il a fait, plus encore que celui des travaux du savant, restera toujours présent à la mémoire de ses collègues de la Société de physique.

TABLE DES MATIÈRES.

TOME XIII^e. — ANNÉE 1886.

Numéro de Janvier-Février.

Pages

Établissement d'une communication téléphonique entre Paris et Reims à l'aide des conducteurs télégraphiques existants	5
Théorie des machines magnéto et dynamo-électriques. .	35
Notice sur la pose du câble sous-marin entre les îles Canaries et le Sénégal.	56
Études sur la théorie du téléphone	83

CHRONIQUE.

Sur les nouvelles expériences exécutées en 1885 au moyen du ballon dirigeable <i>la France</i>	101
Sur des appareils télémicrophoniques	103
Conductibilité électrique des résines.	106

BIBLIOGRAPHIE. — Traité élémentaire des mesures absolues, mécaniques, électrostatiques et électromagnétiques (traduction).

L'électrochimie et l'électrometallurgie, par M. Ponthière.	108
Télégraphe imprimeur de M. Baudot.	109
L'électricité à l'Exposition universelle d'Anvers, par M. Mourlon.	110
Situation des réseaux téléphoniques.	110

NÉCROLOGIE. — M. JAMIN. 111

Numéro de Mars-Avril.

Applications de l'électricité aux chemins de fer (suite).	113
Études sur la théorie du téléphone (suite).	166
Câble électrique inoxydable avertisseur automatique d'incendie de M. Hutinet.	196

CHRONIQUE.

	Pages
Note sur un instrument servant à reproduire à volonté une quantité invariable d'électricité.	201
Électromètre absolu sphérique.	203
Altération de la résistance électrique des fils métalliques, produite par enroulement et déroulement	205

Numéro de Mai-Juin.

Application de l'électricité aux chemins de fer (fin) . . .	209
Théorie des machines magnéto et dynamo-électriques (suite).	225
Montage des sonneries sur les appareils Hughes automatiques desservant les fils souterrains	264
Étude de la pile Daniell à gravité et des piles à un liquide.	270
Sur les origines de la gutta-percha.	283

CHRONIQUE.

Nouveaux dispositifs galvanométriques de M. d'Arsonval :	
Méthode optique de mesure	294
Galvanomètre de haute sensibilité	297
Condensation des fumées par l'électricité statique	298
Sur la variation produite par une élévation de température, dans la force électromotrice des couples thermo-électriques	300

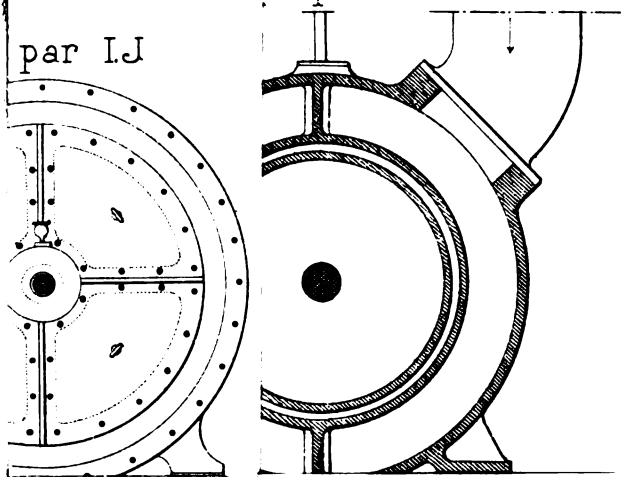
NÉCROLOGIE. — M. MELSSENS.	304
------------------------------------	-----

Numéro de Juillet-Août.

Influence de la nature et de la forme des conducteurs sur la self-induction d'un courant électrique	305
A propos des avantages relatifs des fils de fer et de cuivre pour les lignes télégraphiques	323
Sur la résistance électrique des substances isolantes. . .	326
Expériences téléphoniques récentes faites aux États-Unis d'Amérique.	350
Note sur l'essai de la boucle.	357
Électro-pseudolyse.	367
Allumeur-extincteur pour lampes électriques de M. Radiguet.	370
Manipulateur à décharge de M. Schæffer.	374

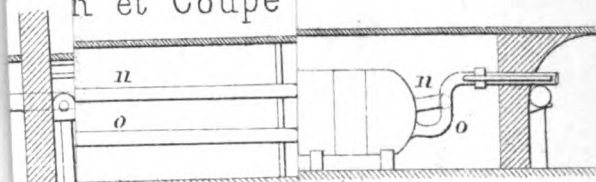
RESSEURS D' type par G.H.

par IJ

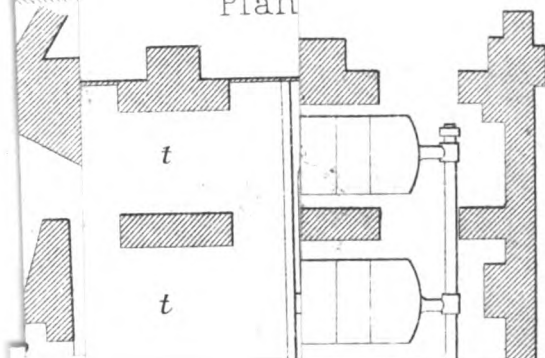




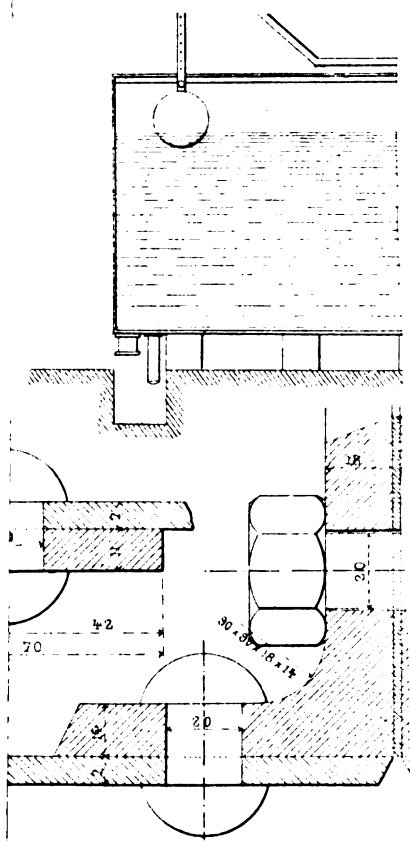
n et Coupe



Plan

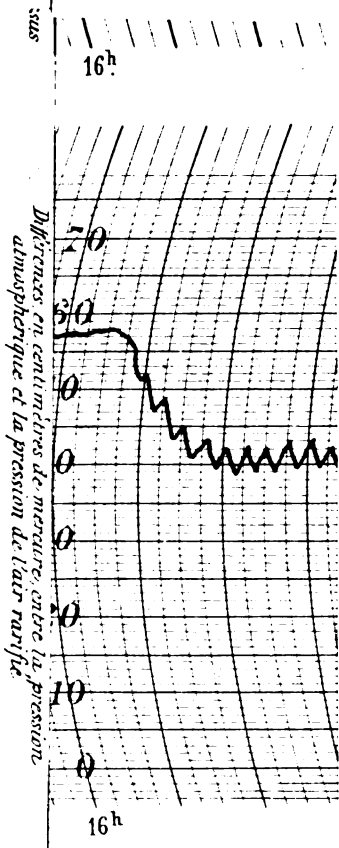






Autc







CHRONIQUE.

	Pages
Sur les propriétés thermo-électriques de quelques substances	377
Loi de la conductibilité électrique des solutions salines de moyenne concentration.	380
Sur la vitesse de propagation de l'électricité	383
Sur un procédé permettant de compter mécaniquement les oscillations d'un pendule entièrement libre.	386
Sur un chronomètre à embrayage magnétique	388
Sons engendrés dans les lames vibrantes par des décharges d'électricité statique	390
Électrolyse secondaire.	391
Reproduction photographique des effets lumineux de l'électricité, sans l'intermédiaire des appareils photographiques ordinaires	391
BIBLIOGRAPHIE. — Traité d'électricité et de magnétisme, par M. Maxwell. Traduction française par M. Séligmann-Lui.	
	397

Numéro de Septembre-Octobre.

Théorie des machines magnéto et dynamo-électriques (<i>suite et fin</i>)	401
Adaptation de l'appareil Hughes à la transmission multiple.	435
Télégraphe multiple Delany	449
Nouveau système pour l'intercommunication des trains en marche.	463
Détermination de la position d'un défaut dans les câbles aériens ou souterrains.	481

CHRONIQUE.

Sur la résistance électrique du maillechort	487
Soudure des métaux par l'électricité	488
La fibre vulcanisée.	489
Une nouvelle application de l'électricité	490
Sur la sensibilité du sélénium et du soufre à la lumière.	491
Courants engendrés par des piles à soufre	493
Détermination des constantes des fils de nickeline au laboratoire électrotechnique de Munich	494

T. XIII. — 1886.

	Pages
BIBLIOGRAPHIE. — Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme,	
par MM. Mascart et Joubert. — 2 ^e vol.	495
Les Postes françaises, par Alexis Belloc.	496
Numéro de Novembre-Décembre.	
Les machines du service pneumatique au nouvel Hôtel des postes, à Paris.	497
Galvanomètre portatif à miroir et à échelle microscopique.	516
Appareils télégraphiques et téléphoniques. Données numériques relatives aux coefficients d'induction.	520
CHRONIQUE.	
Comité technique d'électricité pour l'exposition de 1889.	547
Éclairage électrique des ateliers de lapidaires, à Anvers.	550
Éclairage électrique de la ville de Tivoli, en Italie.	551
Saponification des graisses par l'électricité.	552
Ampèremètre absolu.	552
Isolement du fluor.	554
La résistance électrique des bois.	556
Pile au peroxyde de plomb.	557
Nature et rôle des courants telluriques.	558
Sur le pouvoir inducteur spécifique et la conductibilité des diélectriques. Relation entre la conductibilité et le pouvoir absorbant.	561
BIBLIOGRAPHIE. — Éléments d'électrotechnique, par M. Eric Gérard.	
	535
NÉCROLOGIE. — M. VINCENT, directeur général des postes et des télégraphes de Belgique. — M. BLAVIER (Édouard-Ernest)	
	566
TABLE DES MATIÈRES.	575
TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE.	579

TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE

DES MATIÈRES.

TOME XIII^e. — ANNÉE 1886.

A

ADAPTATION de l'appareil Hughes à la transmission multiple, 435.
ALLUMEUR-EXTINCTEUR Radiguet, 370.
ALTERATION de la résistance des fils métalliques produite par enroulement et déroulement, 205.
AMPÈREMÈTRE absolu, 552.
APPAREILS de chemins de fer à voie unique, 119; — protecteurs pour certains points particuliers, 129; — de contrôle et d'enregistrement, 156; — télégraphiques et téléphoniques : données relatives aux coefficients d'induction, 520; — télémicrophoniques, 103. — Appareil pour la reproduction d'une quantité invariable d'électricité, 201.
APPLICATIONS de l'électricité aux chemins de fer, 113, 209.
ARSONVAL (D'). Nouveau dispositif galvanométrique, 294. — Sur un chronomètre à embrayage magnétique, 388.
AUTOREGULATION des moteurs électriques, 429.

B

BALLON dirigeable *la France*, à moteur électrique, 101.
BAUDOT. Télégraphe imprimeur, 109.
BIBLIOGRAPHIE. Traité élémentaire des mesures absolues, par M. Sierpieri; traduction de M. Marcillac, 107. — L'Électro-chimie et l'électrometallurgie, par M. Ponthière, 108. — Télégraphe imprimeur de M. Baudot, 109. — L'Électricité à l'Exposition universelle d'An-

vers, par M. Mourlon, 110. — Situation des réseaux téléphoniques, 110. — Traité d'électricité et de magnétisme de Maxwell, traduction de M. Seligmann-Lui, 397. — Leçons sur l'électricité et le magnétisme, par MM. Mascart et Joubert, 495. — Les postes françaises, par M. Belloc, 496. — Éléments d'électrotechnique, par M. Éric Gérard, 365.

BELLOC. Les postes françaises, 496.
BIDWELL. Sur la sensibilité du sélénium et du soufre à la lumière, 491. — Courants engendrés par des piles à soufre, 493.
BLAVIER (Obsèques de M.), 566.
BOUDET DE PARIS. Reproduction photographique des effets lumineux de l'électricité, 391.
BOUSSAC. Discours prononcé aux obsèques de M. Blavier, 369.
BOUTY. Loi de la conductibilité électrique des solutions salines de moyenne concentration, 380.

C

CABLE électrique inoxydable de M. Huttinet, 196.
CHAPERON. Sur les propriétés thermoelectriques de quelques substances, 377.
CHEMINS DE FER (Applications de l'électricité aux), 113, 209.
CHRONOMÈTRE à embrayage magnétique, 388.
COMITÉ technique d'électricité pour l'Exposition de 1889, 547.

COMMUNICATION téléphonique entre Paris et Reims, 5.

CONDENSATION des fumées par l'électricité statique, 298.

CONDUCTIBILITÉ électrique des résines, 106.

COUPLES thermo-électriques, variation produite dans la force électromotrice par une élévation de température, 3e0.

COURANTS engendrés par des piles à soufre, 493; — telluriques, 558.

CURIE. Pouvoir inducteur spécifique et conductibilité des diélectriques, 561.

D

DELANT. Télégraphe multiple, 449.

DEPECÉMENT des anneaux par l'électricité, 490.

DEPREZ (Marcel). Note sur un instrument servant à reproduire à volonté une quantité invariable d'électricité, 201.

DETERMINATION des constantes des fils de nickeline, 494; — de la position d'un défaut dans les câbles aériens ou souterrains, 481.

DIÉLECTRIQUES (Pouvoir inducteur spécifique et conductibilité des), 561.

E

ÉCLAIRAGE électrique des ateliers de lapidaires à Anvers, 550; — de la ville de Tivoli, en Italie, 551.

ÉLECTRICITÉ à l'Exposition universelle d'Anvers, 110.

ÉLECTROCHIMIE et électrometallurgie, 108.

ÉLECTROLYSE secondaire, 391.

ÉLECTROMÈTRE absolu sphérique, 203.

ÉLECTROSEUDOLYSE, 367.

ENROULEMENT des dynamo, 401.

ESSAI de la boucle, 357.

ESSAIS de réception du câble sous-marin entre les îles Canaries et le Sénégal, 77.

ÉTUDE des piles Daniell à gravité et des piles à un liquide, 270.

F

FABJOU. Montage des sonneries sur les appareils Hughes automatiques desservant les fils souterrains, 264.

FIBRE vulcanisée, 489.

FILS de fer et de cuivre pour les lignes télégraphiques, 323.

FLUOR (Isolement du), 554.

FOUSSEREAU. Sur la résistance électrique des substances isolantes, 326.

G

GALVANOMÈTRE d'Arsonval, nouveau dispositif, 294; — portatif à miroir et à échelle microscopique de M. Weinhold, 516.

GERARD (Éric). Détermination de la position d'une perte dans les câbles aériens ou souterrains, 484. — Éléments d'électrotechnique, 565.

GODEFROY. Adaptation de l'appareil Hughes à la transmission multiple, système Munier, 435.

GUTTA-PERCHA, ses origines, 283.

H

HEMPPEL. Condensation des fumées par l'électricité statique, 298.

HOPPS. Altération de la résistance électrique des fils métalliques produite par enroulement et déroulement, 205.

HUTINET. Câble électrique inoydable, avertisseur automatique d'incendie, 196.

I

IMMERSION du câble sous-marin entre les îles Canaries et le Sénégal, 56.

INDUCTION mutuelle. Méthode de mesure, 543.

INFLUENCE de la nature et de la forme des conducteurs sur la self-induction d'un courant électrique, 305.

INTERCOMMUNICATION des trains en marche, système Rouquières, 463.

ISOLEMENT du fluor, 554.

J

JAMIN, nécrologie, 111.

JOUBERT. Leçons d'électricité et de magnétisme, 495.

L

LAUDERER. Courants telluriques, 558.

LE CHATELIER. Sur la variation produite par une élévation de température dans la force électromotrice des couples thermo-électriques, 300.

LIPPMANN. Electromètre absolu sphérique, 203.

Loi de la conductibilité électrique des solutions salines de moyenne concentration, 380.

LOIR. Détermination de la position d'un défaut dans les câbles aériens ou souterrains, 481.

M

- MACHINES magnéto et dynamo-électriques, 35, 225, 401.
 MAILLECHORT, résistance électrique, 487.
 MANIPULATEUR à décharge de M. Schaeffer, 376.
 MARCILLAC. Traduction du traité élémentaire des mesures absolues, par M. Sierpieri, 107.
 MASCART. Leçons d'électricité et de magnétisme, 495. — Discours prononcé aux obsèques de M. Blavier, 571.
 MAXWELL. Traité d'électricité et de magnétisme, traduction française par M. Seligmann-Lui, 397.
 MELSSENS, notice nécrologique, 304.
 MERCADIER. Études sur la théorie du téléphone, 83, 166. — Sur les appareils télégraphiques, 103.
 MESURES absolues, traité élémentaire par M. Sierpieri, traduction par M. Marcillac, 107.
 MOISSAN. Isolement du fluor, 554.
 MOURLON. L'électricité à l'Exposition universelle d'Anvers, 110.
 MUNIER. Adaptation de l'appareil Hughes à la transmission multiple, 435.

N

- NÉCROLOGIE. M. Jamin, 111. — M. Melsens, 304. — M. Vinchent, 566. — M. Blavier, 566.

P

- PELLAT. Ampèremètre absolu, 552.
 PILE Daniell à gravité et piles à un liquide, 270; — au peroxyde de plomb, 557.
 PONTIÈRE. L'électrochimie et l'électrometallurgie, 108.
 POUVOIR inducteur spécifique et conductibilité des diélectriques, 561.
 PREECE. Avantage des fils de cuivre pour les lignes télégraphiques, 323. — Télégraphe multiple Delany, 449.
 PROCÉDÉ permettant de compter mécaniquement les oscillations d'un pendule entièrement libre, 386.
 PROPRIÉTÉS thermo-électriques de quelques substances, 377.

R

- RADIGUET. Allumeur-extincteur, 370.
 RENARD. Sur les nouvelles expériences exécutées en 1885 au moyen du ballon dirigeable *la France*, 101.
 REPRODUCTION photographique des effets lumineux de l'électricité, sans l'intervention des appareils photographiques ordinaires, 391.
 RÉSEAUX téléphoniques, 110.
 RÉSISTANCE électrique des résines, 106; — des fils métalliques altérée par enroulement et déroulement, 203; — des substances isolantes, 326; — du maillechort, 487; — de la *nickelline*, 494; — des bois, 556; — des diélectriques, 561.
 ROBERTS. Pile au peroxyde de plomb, 557.
 RODART. Applications de l'électricité aux chemins de fer, 113, 209.
 ROMIGUÈRES. Nouveau système pour l'intercommunication des trains en marche, 463.
 ROTONDI. Saponification des graisses par l'électricité, 552.

S

- SAPONIFICATION des graisses par l'électricité, 552.
 SCHAEFFER. Manipulateur à décharge, 376.
 SELF-INDUCTION. Influence de la nature et de la forme des conducteurs, 305. — Méthodes de mesure, 534, 538. — Données numériques, 526.
 SELIGMANN-LUI. Sur les origines de la gutta-percha, 283. — Traduction du traité d'électricité et de magnétisme de Maxwell, 397.
 SEMMOLA. Sons engendrés dans les lames vibrantes par des décharges d'électricité statique, 390. — Electrolyse secondaire, 391.
 SENSIBILITÉ du sélénium et du soufre à la lumière, 491.
 SIERPIERI. Traité élémentaire des mesures absolues, 107.
 SONNERIES montées sur les appareils Hughes automatiques desservant les fils souterrains, 264.
 SONS engendrés dans les lames vibrantes par des décharges d'électricité statique, 390.

T

- TÉLÉGRAPHE imprimeur de M. Baudot, 109.

582 TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE DES MATIÈRES.

- Système Munier, 435. — Système Delany, 449.
- TÉLÉPHONE. Études sur la théorie, 83, 166.
- TÉLÉPHONIE. Communication téléphonique entre Paris et Reims, 5. — Appareils télémicrophoniques, 103. — Situation des réseaux téléphoniques, 110. — Expériences récentes aux Etats-Unis d'Amérique, 350.
- THÉORIE des machines magnéto et dynamo-électriques, 35, 225, 401; — du téléphone, 83, 166.
- THOMAS. Pose du câble sous-marin entre les îles Canaries et le Sénégal, 56.
- TOMMASI. Electro-psendolyse, 367.
- TOUANNE (DE LA). Établissement d'une communication téléphonique entre Paris et Reims à l'aide des conducteurs télégraphiques existants, 5. — Note sur l'essai de la boucle, 357. — Appareils télégraphiques et téléphoniques; données numériques relatives aux coefficients d'induction, 520.
- V
- VAN BYSSELBERGHE. Expériences téléphoniques récentes aux Etats-Unis d'Amérique, 350.
- VASCHY. Théorie des machines magnéto et dynamo-électriques, 35, 225, 401. — Vitesse de propagation de l'électricité, 383. — Appareils télégraphiques et téléphoniques; données numériques relatives aux coefficients d'induction, 520.
- VESQUE. Note sur les origines de la gutta-percha, 290.
- VINCENT, nécrologie, 566.
- VITESSE (Sur la) de propagation de l'électricité, 383.
- W
- WOLF. Allocution prononcée aux obsèques de M. Blavier, 574.
- WUNSCHENDORFF. Les machines du service pneumatique au nouvel hôtel des Postes à Paris, 497.

FIN DES TABLES.

Le Gérant : DUNOD. — Imprimerie C. Marpon et E. Flammarion, 26, rue Racine.

MAR 26 1929

MAR 26 1929

